



Evaluación del posicionamiento preciso a través de los receptores GPS LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P de bajo costo

Naccieli Bojorquez-Pacheco

Rosendo Romero-Andrade

Manuel E. Trejo-Soto

Daniel Hernández-Andrade

Manuel Trejo-Echeagaray

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

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n24p68](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p68)

Submitted: 04 June 2022

Accepted: 26 July 2022

Published: 31 July 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

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*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (24), 68. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p68>

Resumen

Se comparó el posicionamiento obtenido en dos casos de estudios dependientes de las distancias (~31 y ~4.9 Km) a través del método estático mediante el uso de receptores de bajo costo de simple (LEA-6T y NEO-M8T) y doble frecuencia (ZED-F9P); tomando como referencia un receptor de orden geodésico Geomax Zenith 25. Asimismo, el posicionamiento fue evaluado con a la normativa vigente en México para el Circulo de Error Probable (CEP) y Exactitud Posicional Vertical (EPV) con una incertidumbre del 95%. Se encuentran discrepancias entre coordenadas para un mismo punto en el sistema ENU, valores mínimos de ~ 2 mm y ~ 10 mm, para una distancia ~31 y ~4.9 Km, respectivamente, obteniendo el mejor resultado con el receptor de una frecuencia LEA-M8T para la distancia de ~31 km; para el caso ~4.9 km se presenta con el receptor ZED-F9P en conjunto con una antena de orden Geodésico. Por otro lado, los resultados muestran un grado de cumplimiento en el posicionamiento de los receptores de bajo costo favorable donde; se obtienen valores de 8 mm de variación máxima para CEP; para EPV al 95% de confiabilidad, 1 cm de discrepancia. Presentando los mejores resultados los receptores LEA-6T y NEO-M8T, caso ~31 km, en cuanto a CEP y EPV.

Palabras clave: ZED-F9P; LEA-6T; NEO-M8T; GNSS de Bajo Costo; Método Relativo Estático

Precise Positioning Evaluation Using LEA-6T, NEO-M8T and ZED F9P low-cost GPS

Naciel Bojorquez-Pacheco

Rosendo Romero-Andrade

Manuel E. Trejo-Soto

Daniel Hernández-Andrade

Manuel Trejo-Echeagaray

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

Abstract

A comparative study between the positioning obtained in two case studies depending on distances (~31 and ~4.9 km) was carried out through the static method of survey using the low-cost receivers of single (LEA-6T and NEO-M8T) and double frequency (ZED-F9P). The reference was taken as Geomax Zenith 25 geodetic order receiver. The positioning was evaluated with the current regulations in Mexico for the Circle of Probable Error (CEP) and Vertical Positional Accuracy (EPV) with an uncertainty of 95%. The discrepancies between coordinates for the same point in the ENU system were found to be the minimum values of ~ 2 mm and ~ 10 mm for a distance of ~31 and ~4.9 Km, respectively. The best results were obtained with the NEO-M8T single frequency receiver for the distance of ~31 km and for the distance of ~4.9 km, it is presented with the ZED-F9P receiver in conjunction with a geodetic antenna. Whereas on the other hand, the results show a degree of compliance in the positioning of low-cost receivers wherein the variation values of a maximum of 8 mm are obtained for CEP and for EPV 1 cm discrepancy was observed at 95% reliability. The LEA-6T and NEO-M8T receivers presented the best results for the case of ~31 km, in terms of CEP and EPV.

Keywords: ZED-F9P; LEA-6T; NEO-M8T; Low-cost GNSS; Static relative method

Introduction

La necesidad de determinar la ubicación de puntos sobre la superficie terrestre mediante posicionamiento preciso conlleva el uso de Sistemas

Globales de Navegación por Satélite (GNSS), mismos que han permitido desarrollar nuevas tecnologías para la determinación de puntos sobre la superficie terrestre con mayor precisión (como lo son los receptores de orden geodésico). De acuerdo con García Marín et al. (2012), las técnicas geodésicas para determinar posiciones mediante el establecimiento de sistemas de referencia están relacionados con la forma y dimensión de la Tierra, por ello surge la necesidad de georreferenciar puntos mediante el cálculo de coordenadas. Actualmente los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) son utilizados en trabajos como: deformación de la corteza (Marquez-Azua y DeMets, 2009), análisis estructural (Zhang et al., 2020), comportamiento ionosférico (Ren et al., 2016), por citar algunos, sin embargo, debido al alto precio que conlleva el uso de estos equipos, surge la idea de la reducción de tamaño y características físicas de los receptores geodésicos, dando paso a la implementación de receptores GNSS de bajo costo en los diferentes trabajos que conlleven la obtención de posicionamiento (Tsakiri et al., 2017).

En este sentido, debido a los altos precios de los receptores GNSS de orden geodésico, durante los años noventa, surge la necesidad de introducir equipos con buenas características (portación, recepción de la señal, etc.) y de menor precio que los receptores geodésicos, como los son los receptores GNSS de bajo costo. Estos equipos, son denominados de alta sensibilidad, dado que, poseen una capacidad de rastreo de señal que alcanza un promedio de -160 dB (Tsakiri et al., 2017) en comparación con los receptores geodésicos que alcanzan un promedio de -128.5 dB (Zamora Maciel et al., 2020), no obstante, la precisión de estos equipos depende del tipo de método y del software utilizado (científico o comercial), asimismo, de las exigencias del trabajo y capacidades técnicas del operador (por ejemplo: trabajos de menor precisión pueden ser procesados con software comercial, como lo es Topcon Tools, mientras que para deformación de la corteza terrestre se requiere una mayor precisión, donde se procesa en software científico) (Ferhat et al., 2015; Romero-Andrade et al., 2021). Actualmente, los receptores GNSS de bajo costo están disponibles en el mercado con un valor de ~200€ (75% menor a un receptor de orden geodésico aproximadamente), lo que hace que sean considerados para ser utilizados en el área de la topografía y la geodesia (Hamza et al., 2021a); ya que los receptores GNSS de orden geodésico pueden llegar a ser demasiado costosos y, por lo tanto, los instrumentos GNSS de bajo costo puede verse como una alternativa adecuada (Cina y Piras, 2015).

Por otro lado, la aparición de receptores multiconstelación capaces de capturar datos de fase de portadora a altas frecuencias (posicionamiento de fase portadora de alta sensibilidad (HS)) han ido creciendo constantemente en los últimos años, ya que, los GNSS de bajo costo poseen características diferentes a los receptores convencionales de medición (tamaño, peso,

software, etc.), lo que facilita la adquisición de señales multi-satelitales en menor tiempo de respuesta (Tsakiri et al., 2017).

Con base en lo anterior, los receptores de bajo costo han sido probados en un principio para aplicaciones como mapeo (Tsakiri et al., 2018) y aplicaciones forestales (Tomaščík et al., 2017), por la baja precisión que ofrecían en sus inicios. Sin embargo, debido a la mejora de los dispositivos, en el estado del arte, estos equipos han sido aplicados en monitoreo de obras de ingeniería para el análisis de la Salud Estructural (Manzini et al., 2020), ya que estos alcanzan altas frecuencias de muestreo (Hamza et al., 2021b; Romero-Andrade et al., 2021; Wang y Yang, 2021), monitoreo de laderas (Cina y Piras, 2015; Poluzzi et al., 2019), en líneas base geodésicas (Zamora-Maciél et al., 2020) y en diferentes tecnologías (Romero-Andrade et al., 2019); asimismo, ha sido probado en diferentes métodos, siendo mayor parte en Tiempo Real (Garrido-Carretero et al., 2019; Paziewski et al., 2021) y en Posicionamiento Puntual Preciso (Gill et al., 2017; Wen et al., 2020), no obstante solo pocos trabajos consideran el uso del método relativo estático (Romero-Andrade et al., 2020, 2021; Zamora-Maciél et al., 2020).

Dado lo anterior, el objetivo principal de este estudio es probar la factibilidad de uso de equipos de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P), los cuales cuentan con diferentes características para incursión en trabajos topógrafos-geodésicos, para ello, los receptores de bajo costo son evaluados bajo el modo relativo estático, donde se analiza para qué tipo de aplicaciones son factibles con base en la precisión obtenida. Para llevar a cabo la evaluación, se tomará como referencia los valores obtenidos de receptores de orden geodésico, así como la normatividad vigente en México para el posicionamiento preciso (INEGI, 2010).

En este sentido, se demuestra que los receptores de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P) son aptos para trabajos geodésicos de mediana precisión para la componente horizontal, no obstante, para la componente vertical, es posible usarlos, si y solo si, las características del proyecto lo admiten. Asimismo, es notable que al usar el modelo Gravimetric Geoid for Mexico 10 (GGM10) la componente vertical se ve afectada considerablemente disminuyendo su precisión.

Métodos

Características de los equipos usados en el experimento

Se utilizaron tres modelos de receptores de bajo costo: ZED-F9P (Figura 1A), LEA-6T (Figura 1B) y NEO-M8T (Figura 1C) y un receptor de orden geodésico Geomax-Zenith 25 (Tabla 1); además, una antena de bajo costo modelo ANN-MB-00 (Ant-LC) (caso B) (Figura 2A), con el objeto de comparar el rendimiento entre las antenas con un mismo receptor y dos antenas de orden geodésico modelo LEICA-AS10 (Ant-G) (Figura 2B).

Tabla 1. Características de los modelos U-Blox y especificaciones técnicas del receptor Geomax Zenit-25.

MODELO (U-Blox)	NEO-M8T	ZED-F9P	NEO/LEA-6T	Geomax Zenit-25
Frecuencia	10 MHz	10 MHz	10 MHz	1900 MHz
Salida de datos Modo	Pseudo rango sin procesar Estático	Pseudo rango sin procesar Estático	Pseudo rango sin procesar Estático	Pseudo rango sin procesar Estático
Interfaces	UART, USB y DDC (compatible con I2C)	UART, USB, SPI y DDC (compatible con I2C)	UART, USB y DDC (compatible con I2C)	Controladora Bluetooth
Precisión	Centrimétrica	Centrimétrica	Centrimétrica	Centrimétrica
Satélites	GPS / QZSS, GLONASS, BeiDou, Galileo	GPS, GLONASS, GALILEO y BeiDou	GPS	GPS, GLONASS, GALILEO y BeiDou
Número de GNSS simultáneos (observados)	4	4	4	4
Bandas GNSS	L1C / A, L2C, L1OF, L2OF, E1B / C, E5b, B1I, B2I	L1C / A, L2C, L1OF, L2OF, E1B / C, E5b, B1I, B2I	L1	L1, L2, L2C, B1, B2
Sensibilidad	Seguimiento y navegación -167 dBm Inicio frío -157 dBm Inicio caliente -160 dBm	Seguimiento y navegación -167 dBm Inicio frío -148 dBm Inicio caliente -157 dBm	Seguimiento y navegación -162 dBm Inicio frío -148 dBm	Seguimiento y navegación -160 dBm

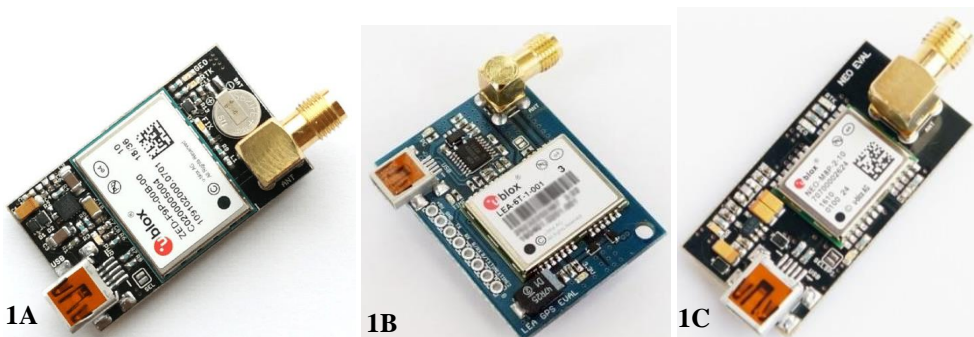


Figura 1. (A) Receptor de bajo costo ZED-F9P de doble frecuencia;
 (B) Receptor de bajo costo LEA-6T de una frecuencia;
 (C) Receptor de bajo costo NEO-M8T de una frecuencia



Figura 2. (A) Antena ANN-MB multibanda; (B) Antena GNSS serie AS10

Recolección y análisis de calidad de las observaciones GPS

La metodología utilizada para la investigación es presentada en la Figura 3.

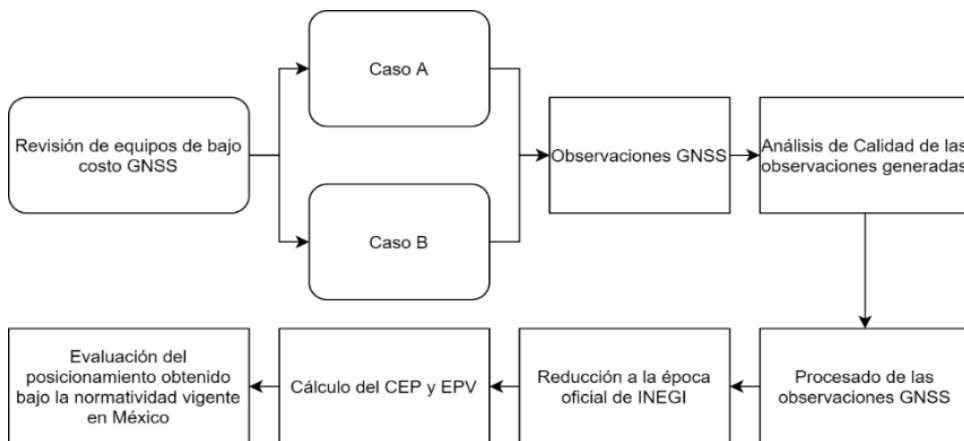


Figura 3. Metodología utilizada para la recolección de datos

En primera instancia, se procedió a revisar el funcionamiento de los equipos de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P), considerando las tasas de muestreo debido a la pérdida de información (Romero-Andrade et al., 2021). En este sentido, se consideraron dos casos de estudio: A y B (basados en la distancia a la estación de referencia). Como tercer paso, la recolección de datos GNSS fue llevada a cabo por medio de tres campañas de medición, dos campañas con equipo de orden geodésico y una con receptores de bajo costo, es decir, los puntos en ambos casos de estudio (A y B) fueron medidos dos veces con receptores de orden geodésico (una medición de control y otra de comparación), posteriormente se midieron con los receptores de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P). Para el caso A, se utilizaron tres monumentos (pilares) de centrado forzoso ubicados en la azotea de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio (Figura 4) ubicada a ~ 4.9 km de la

estación de referencia continua “CULC”, la cual pertenece a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) en la Ciudad de Culiacán, Sinaloa. Para el caso B, de igual forma fueron usados dos monumentos de centrado forzoso (pilares) ubicados sobre la parte estable de la Presa Sanalona (Figura 5), la cual está ubicada en el cauce del río Tamazula, en la sindicatura de Sanalona a una distancia ~31 km, al Este del municipio de Culiacán, en el estado de Sinaloa, México; siendo el objetivo principal de las diferentes distancias, ver la precisión que es posible alcanzar en líneas base cortas y largas. Para el caso de la altura, el tornillo para el centrado forzoso fue medido, después se colocó la antena midiendo desde la base del centrado forzoso hasta la marca del receptor, para así restar la altura del tornillo a la altura de la antena. Para todos los casos, se consideró la altura calculada del receptor geodésico como altura de referencia para las observaciones.

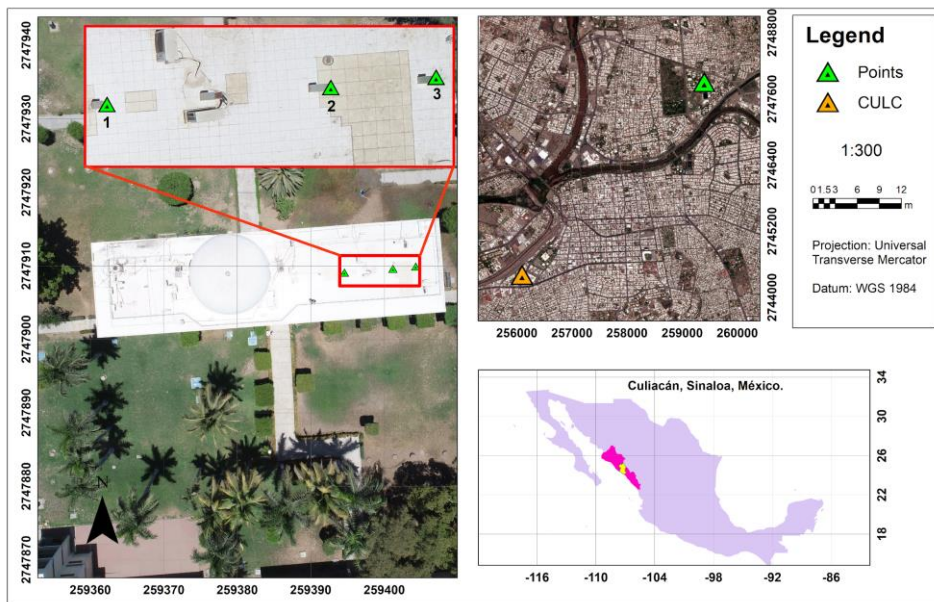


Figura 4. Ubicación del caso de estudio A

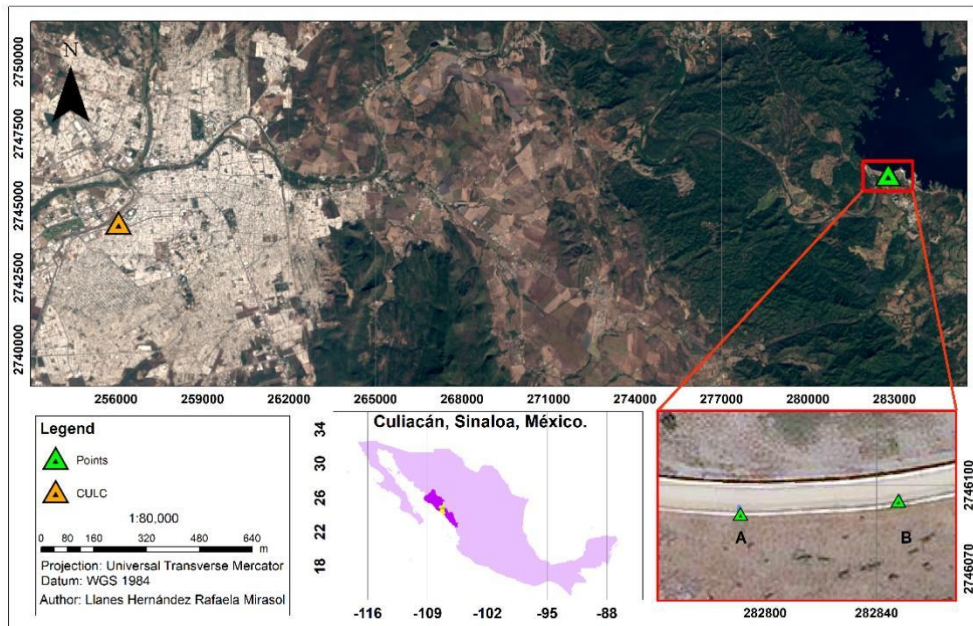


Figura 5. Ubicación del caso de estudio B

En este sentido, para las observaciones GNSS, solo se consideró la constelación GPS (Global Positioning System), debido a que no todos los receptores poseen la misma capacidad de rastreo de la señal, dichas observaciones tuvieron una duración de 2 h por punto observado. El control de calidad de los datos GPS se llevó a cabo mediante el programa TEQC (Estey & Wier, 2014), con la finalidad de obtener y evaluar el estado de las señales recibidas (García-Armenteros, 2020; Hernández-Andrade et al., 2020, 2022). Los parámetros de calidad son evaluados con los estándares del IGS (International GNSS Service) (IGS, 2015), calculando el efecto multitrayectoria (MP) mediante una combinación lineal de pseudorange y fase portadora para L1 y L2 en m, con valores recomendados < 0.30 m (IGS, 2015). Los saltos de ciclo por cada mil observaciones (CSR) se calculan a partir de la pérdida en la fase portadora $CSR = 1000/(o/slps)$ (Souto, 2014; Yeh et al., 2007, 2008); donde “o/slps” es el número de observaciones entre saltos de ciclo, el valor recomendado debe ser < 1 por cada 1000 observaciones (IGS, 2015). Para la relación señal-ruido (SNR) se consideran señales ≥ 36 dBHz en las bandas L1 y L2 (Xiao et al., 2020). La integridad se calcula con base a las observaciones de ciclo completos, con un valor recomendado > 95 % (IGS, 2015). Una vez analizadas las observaciones, estas fueron procesadas a través del método relativo estático donde la precisión está directamente relacionada con la longitud de la línea base, la cual asciende 1 mm por 0.1 ppm para líneas base de hasta 100 km (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

En este sentido, una vez procesadas las observaciones, se realizó la reducción a la época oficial ITRF08 (International Terrestrial Reference Frame), época 2010.0 de INEGI como parte de la normatividad (INEGI, 2010; Romero-Andrade et al., 2020). Una vez realizada la reducción a la época oficial, se llevó a cabo el cálculo del Círculo del Error Probable (CEP) (Ecuación 1) y Exactitud de Posicionamiento Vertical (EPV) (Ecuación 2), considerando un intervalo de confianza de 95% (INEGI, 2010):

$$CEP_{95} = 1.2238(\sigma_{\phi} + \sigma_{\lambda}) \quad (1)$$

$$EPV = 1.9600\sigma \quad (2)$$

Donde σ es la desviación estándar, σ_{ϕ} y σ_{λ} es la desviación estándar de la latitud y longitud, respectivamente. Con base en lo anterior, se establecerán dos órdenes para la alta precisión para el cálculo del CEP: orden de 5 cm, el cual deberá aplicarse a los trabajos encaminados a establecer un sistema geodésico de referencia nacional y orden de 1 dm, el cual se destinará a levantamientos geodésicos de densificación del sistema geodésico nacional básico. Asimismo, para el EPV, se consideró el criterio del CEP, debido a que no se realizó una nivelación GNSS, no obstante, es de importancia analizar la componente vertical. Finalmente, el posicionamiento fue evaluado bajo la normatividad vigente en México (INEGI, 2010).

Procesamiento y análisis de los datos GPS

Los datos obtenidos se procesaron mediante el método relativo estático, considerando la estación de referencia “CULC” perteneciente al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), utilizando receptores de bajo costo de una y doble frecuencia, así como, receptores de orden geodésico para ambos casos de estudio. Los receptores de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P) fueron configurados a un intervalo de muestreo de 5 Hz (dada la pérdida de datos en los receptores de bajo costo de una y doble frecuencia) (Romero-Andrade et al., 2021), mismas que fueron decimadas a 15 segundos (tiempo en común con la estación de referencia) mediante el software TEQC, con una máscara de elevación de 10° y tiempo de observación de 2 h (Tabla 2). Para ambos casos (A y B), el procesamiento se realizó a través del software Topcon Tools (Topcon, 2009), así mismo fueron utilizadas efemérides precisas (SP3) del IGS (International GNSS Service) (Spofford y Remondi, 1994) y el archivo ANTEX (IGS) para la corrección de centro de fase de la antena.

Las coordenadas obtenidas con el receptor de orden geodésico fueron consideradas como referencia, ya que normalmente se utilizan receptores geodésicos para trabajos de posicionamiento y obtención de coordenadas precisas, llevando estas al marco de referencia ITRF08, época 2010.0 oficial

en México (INEGI, 2016; Romero-Andrade et al., 2020). Las coordenadas obtenidas con los receptores de bajo costo fueron comparadas con las de referencia en el sistema ENU (*East, North, Up*), con la finalidad de evaluar la precisión de dichos receptores. Así mismo, se calculó el “Círculo de Error probable” (CEP) y “Exactitud Posicional Vertical” (EPV). De la misma forma se evaluó la “Exactitud Posicional Vertical” (EPV) en un modelo geoidal como lo es el GGM10 (oficial en México); con 2.5 min de arco, 4.5 km aproximadamente y una desviación estándar de 0.20 m (INEGI, 2010).

Tabla 2. Características de las observaciones, caso A y B.

Caso A				
Receptores	Intervalo de muestreo	Ángulo de elevación	Constelación	Tiempo de observación
Geodésico	15 s	15°	GPS+GLONASS+GALILEO	2 h
ZED-F9P	15 s	15°	GPS+GLONASS+GALILEO	2 h
LEA-6T	15 s	15°	GPS	2 h
NEO-M8T	15 s	15°	GPS+GLONASS+GALILEO	2 h
Caso B				
ZED-F9P + Antena de orden geodésico (Ant-G)	15 s	15°	GPS+GLONASS+GALILEO	2 h
ZED-F9P + Antena Bajo costo (Ant-LC)	15 s	15°	GPS+GLONASS+GALILEO	2 h

Resultados

Análisis de calidad de las observaciones

El control de calidad de las observaciones es presentado en las Tablas 3 y 4 para los casos A y B, respectivamente, considerando los cuatro parámetros fundamentales (MP, CSR, SNR e INT). Como fue comentado en la sección de metodología, fueron utilizados vértices de centrado forzoso sobre pilares, lo cual es condicionado por el lugar. Asimismo, se diseñó el experimento en función de la lejanía a la estación de referencia.

Para el caso A (Tabla 3), los valores del receptor de orden geodésico cumplen con el estándar del IGS, presentando una señal relación-ruido superior a 36 dBHz, saltos de ciclo menor a 1 por cada mil observaciones, efecto multitrayectoria menor a 30 cm y una integridad superior al 95%. En este sentido, para los receptores de bajo costo de una frecuencia (LEA-6T y NEO-M8T), no se calculan los valores del efecto multitrayectoria, integridad, saltos de ciclo y señal relación-ruido, dado que, el modelo es calculado con la combinación lineal de doble frecuencias (L1 y L2) (Estey y Meertens, 1999; Hernández-Andrade et al., 2020). Por otro lado, para el receptor de bajo costo

(ZED-F9P), los valores de saltos de ciclo por cada mil observaciones, señal relación-ruido, y efecto multitrayectoria cumple con los parámetros sugeridos por el IGS, no obstante, presenta una baja integridad, lo cual puede estar relacionado con la frecuencia de muestreo (Rosendo Romero-Andrade et al., 2021).

Para el caso B (Tabla 4), se realizaron observaciones considerando el receptor de bajo costo (ZED-F9P) de doble frecuencia, en complemento con una antena de orden geodésico (Ant-G) y una de bajo costo (Ant-LC). Los resultados para el receptor de bajo costo (ZED-F9P) de doble frecuencia utilizando la antena de orden geodésico (Ant-G) presentan un cumplimiento de los parámetros de calidad sugeridos por el IGS. No obstante, en el caso de la integridad para el vértice 1B, se presenta una baja integridad con un 91%. En este sentido, al utilizar el receptor de bajo costo (ZED-F9P) de doble frecuencia en combinación con una antena de bajo costo (Ant-LC) se mantiene el cumplimiento con los parámetros de calidad, sin embargo, para el caso de la integridad disminuye.

Tabla 3. Análisis de calidad de las observaciones GPS para el caso A.

Vértice	Receptor	MP1 (m)	MP2 (m)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	CSR ($(1000/(o/slps))$)	INT (%)
1A	Geodésico	0.04	0.06	44.99	39.61	0.005	100
	LEA- 6T	-	-	43.17	-	-	-
	NEO-M8T	-	-	40.75	-	-	-
	ZED F9P	0.18	0.11	43.31	42.93	0.937	89
2A	Geodésico	0.06	0.08	42.50	40.94	0.245	98
	LEA- 6T	-	-	43.47	-	-	-
	NEO-M8T	-	-	42	-	-	-
	ZED F9P	0.41	0.37	38.92	40.09	0.927	83
3A	Geodésico	0.06	0.08	43.43	39.81	0.091	100
	LEA- 6T	-	-	43.92	-	-	-
	NEO-M8T	-	-	40.33	-	-	-
	ZED F9P	0.16	0.07	41.25	40.83	0.111	80

MP es el efecto multitrayectoria; SNR es la señal relación-ruido; CSR son los saltos de ciclo; INT es la integridad. Los cuales son presentados para la L1 y L2.

Tabla 4. Análisis de calidad de las observaciones GPS para el caso B.

Vértice	Antena	MP1 (m)	MP2 (m)	SNR1 (dBHz)	SNR2 (dBHz)	CSR ((1000/(o/slps))	INT (%)
1B	Control Geodésico	0.19	0.18	41.93	41.03	0.050	97
	Ant-G	0.19	0.13	43.32	42.71	0.987	91
	Ant-LC	0.17	0.39	40.69	37.68	0.727	89
2B	Control Geodésico	0.24	0.23	44.48	41.51	0.210	96
	Ant-G	0.11	0.37	40.67	40.62	0.909	90
	Ant-LC	0.09	0.35	44.03	41.21	0.619	95

MP es el efecto multitrayectoria; SNR es la señal relación-ruido; CSR son los saltos de ciclo; INT es la integridad. Los cuales son presentados para la L1 y L2.

Comparativa de coordenadas en sistema local topocéntrico (ENU)

Para ambos casos de estudio se toma como centro de coordenadas locales las mediciones de la primera campaña de medición geodésica, las mediciones posteriores son referenciadas a esta para obtener su variación. Las Tablas 5 y 6, muestran las coordenadas geodésicas del caso “A”, mientras que las Tablas 7 y 8, las del caso “B”; dichas coordenadas son transformadas al sistema local topocéntrico (ENU), con el objetivo de representar las discrepancias en un sistema de coordenadas plano. En este sentido, para en el caso B (Tabla 8), se realizó la evaluación del receptor geodésico para tener un punto de referencia, esto fue realizado con una campaña previa a las observaciones realizadas.

Referente a las alturas, se encuentra que existe una diferencia en el orden del cm, la cual coincide con lo reportado por Romero-Andrade et al., (2021); Romero-Andrade et al., (2020) para la componente vertical.

Tabla 5. Coordenadas de referencia de la primera campaña con receptor geodésico expresadas en el ITRF08 época 2010.0 para el caso A.

Vértice	Latitud	Longitud	h (m)
1A	24°49'37.77142"		
		107°22'50.14687"	41.824
2A	24°49'37.79275"	107°22'49.911711"	41.786
	24°49'37.80356"		
3A		107°22'49.80198"	41.789

Tabla 6. Coordenadas calculadas y expresadas en el ITRF08 época 2010.0 para el caso A.

Vértice	Receptor	Longitud	Latitud	h (m)
1A	Geodésico	107°22'50.15176"	24°49'37.76861"	41.777
	LEA-6T	107°22'50.1796"	24°49'37.76891"	41.983
	NEO-M8T	107°22'50.14728"	24°49'37.77153"	41.999
	ZED-F9P	107°22'50.1469"	24°49'37.77148"	42.040
2A	Geodésico	107°22'49.92204"	24°49'37.79003"	41.777
	LEA-6T	107°22'49.91718"	24°49'37.79297"	41.983
	NEO-M8T	107°22'49.911745"	24°49'37.79281"	41.892
	ZED-F9P	107°22'49.90678"	24°49'37.80339"	43.172
3A	Geodésico	107°22'49.80670"	24°49'37.80082"	41.789
	LEA-6T	107°22'49.80662"	24°49'37.80079"	41.999
	NEO-M8T	107°22'49.80189"	24°49'37.80368"	41.993
	ZED-F9P	107°22'49.80181"	24°49'37.8034"	41.993

Tabla 7. Coordenadas geodésicas del punto de origen expresadas en ITRF08 época 2010.0 del punto de origen caso B.

Vértice	Latitud	Longitud	h (m)
1B	24°48'51.52890''	107°08'56.20646"	127.827
2B	24°48'51.71003''	107°08'54.29876"	127.85

Tabla 8. Coordenadas geodésicas calculadas y expresadas en el ITRF08 época 2010.0 para el caso B.

Vértice	Receptor	Longitud	Latitud	h (m)
1B	Control Geodésico	107°08'56.20661"	24°48'51.52904"	127.799
	ZED-F9P (Ant-LC)	107°08'56.20738"	24°48'51.52889"	127.909
	ZED-F9P (Ant-G)	107°08'56.20682"	24°48'51.52937"	128.045
2B	Control Geodésico	107°08'54.29897"	24°48'51.71032"	127.814
	ZED-F9P (Ant-LC)	107°08'54.29955"	24°48'51.71086"	127.967
	ZED-F9P (Ant-G)	107°08'54.29872"	24°48'51.71005"	128.003

Las Tablas 9 -10 y Figuras 6-7 se presentan las coordenadas en el sistema local ENU para el caso "A" y "B" respectivamente, en las que se muestran los valores de las coordenadas para los receptores ZED-F9P (vértice 2A) y LEA-6T (vértice 1A), los cuales presentan mayor diferencia para el caso "A", en este sentido, los receptores de bajo costo ZED-F9P y LEA-6T presentan una mayor sensibilidad al entorno, el cual, en algunos casos el concreto actúa como generador de efecto multitraectoria. Por otro lado, el valor mínimo encontrado para las tres componentes se obtuvo en el receptor geodésico del vértice 3A, con diferencias para E, N, U, de 0.007, -0.005 y 0.002, en m, respectivamente. Mientras que la mayor discrepancia se obtiene en el receptor NEO-6T en el vértice 1A con valores para las tres componentes superiores a los 0.10 m. No obstante, para el vértice 2A en el caso del receptor geodésico, LEA-6T y ZED-F9P presentan las diferencias más grandes, al igual que el vértice 1A receptor NEO-M8T, lo cual puede estar asociado al entorno

generado por superficies reflejantes o producto de la pérdida de información al momento de realizar las observaciones.

El caso “B” presenta una variación respecto al punto de referencia local en el rango de 2 a 4 mm para las componentes Norte y Este, con una mayor diferencia en las mediciones con antena de bajo costo (Ant-LC), sin embargo, en el caso de la componente vertical, se presenta mayor diferencia en la medición con antena geodésica con 21 cm en el vértice 2B.

Respecto a las Figuras 6 y 7, se presenta un comportamiento particular al incrementar la altura cuando es usada una antena de orden geodésico (Ant-G) a diferencia de una antena de bajo costo (Ant-LC). No obstante, este efecto pudiese generarse por la manipulación propia de los componentes externos del receptor (cables, antena, etc.), ya que tiene una mejor respuesta al usar cables y antenas del mismo fabricante. Asimismo, para los receptores de bajo costo presentan exactitud con respecto a los valores tomados como referencia de un receptor de orden geodésico, no obstante, la altura presenta los valores menos precisos y exactos.

Tabla 9. Coordenadas ENU, caso A.

Vértice	Receptor	coordenadas ENU		
		X (E)	Y (N)	h (U)
1A	GEODÉSICO	0.012	-0.007	-0.045
	LEA-6T	0.796	0.623	0.161
	NEO-M8T	0.011	0.003	0.175
	ZED-F9P	0.001	0.001	0.216
2A	GEODÉSICO	0.164	-0.004	-0.007
	LEA- 6T	0.153	0.006	0.197
	NEO-M8T	0.001	0.001	0.196
	ZED-F9P	-0.138	0.327	1.386
3A	GEODÉSICO	0.007	-0.005	0.002
	LEA- 6T	0.005	-0.006	0.212
	NEO-M8T	-0.002	-0.005	0.204
	ZED-F9P	-0.004	-0.004	0.25

Tabla 10. Coordenadas ENU, caso B.

Vértice	Receptor	coordenadas ENU		
		X (E)	Y (N)	h (U)
1B	Control Geodésico	0.004	0.004	-0.028
	ZED-F9P (Ant-LC)	0.025	-	0.082
	ZED-F9P (Ant-G)	0.010	0.014	0.218
2B	Control Geodésico	0.005	0.008	-0.036
	ZED-F9P (Ant-LC)	0.022	0.025	0.117
	ZED-F9P (Ant-G)	-0.001	0.001	0.153

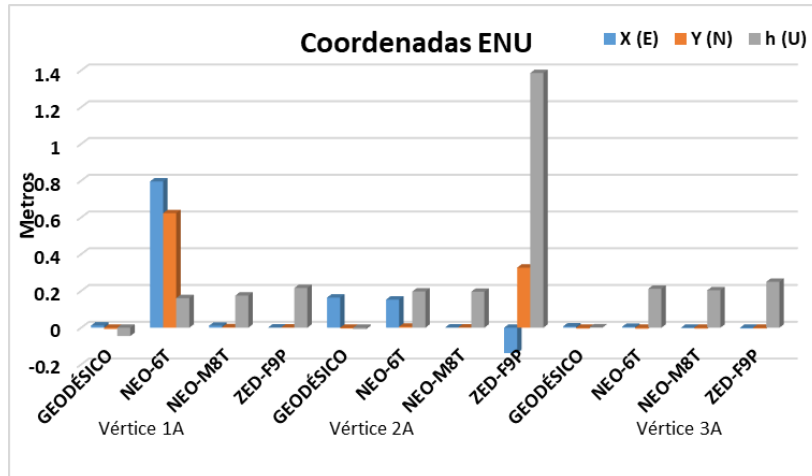


Figura 6. Coordenadas ENU caso A.

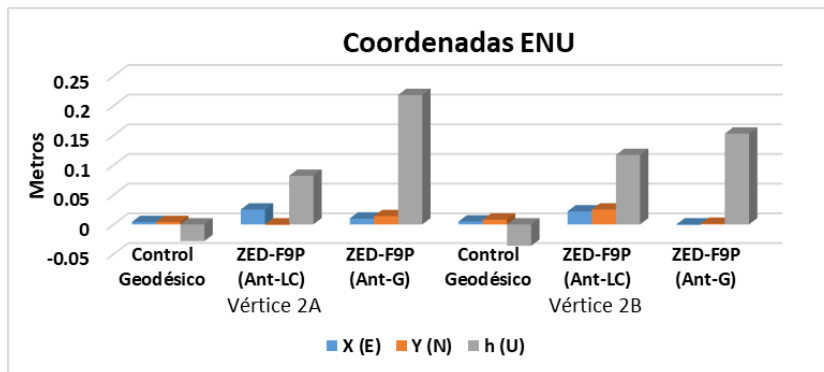


Figura 7. Coordenadas resultantes, caso B.

Cálculo del Círculo de Error Probable (CEP) y Exactitud Posicional Vertical (EPV)

Las Tablas 11 y 12 presentan los resultados para CEP y EPV con un intervalo 95% de confiabilidad para el caso “A” y caso “B”, respectivamente, en las cuales, se encuentra que, para ambos casos, los valores obtenidos están dentro del rango establecido en la normativa vigente en México. Para el caso “A”, son menores a 5 cm para el CEP, a excepción de la medición con el receptor ZED-F9P del punto 2A, dado que supera dicho rango con valores de desviación estándar de 14, 19 y 26 cm, para las componentes Este, Norte y vertical, respectivamente, asimismo, un CEP de 0.417 m y un EPV de 0.515 siendo mayor a 1 dm. Este comportamiento puede atribuirse a la ubicación propia del vértice, ya que este se encuentra en la parte superior del edificio de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, donde existen objetos que pudiesen generar mayor efecto multitrayectoria. Para el caso “B”, se obtiene un valor para CEP máximo de 1 cm y un EPV máximo de 3 cm, estando dentro

del rango de evaluación, conforme a la Normativa de Exactitud Posicional en México (CEP < 5cm, EPV < 1dm).

Tabla 11. Desviaciones estándar y cálculo de CEP y EPV, caso A.

Desviaciones estándar							
ID	Receptor	(m)	(m)		CEP	EPV	EPV-GGM10
1A	GEODÉSICO	0.001	0.002	0.004	0.004	0.008	0.392
	LEA-6T	0.002	0.002	0.004	0.005	0.008	0.392
	NEO-M8T	0.002	0.002	0.006	0.005	0.011	0.392
	ZED-F9P	0.002	0.002	0.006	0.005	0.012	0.392
2A	GEODÉSICO	0.002	0.002	0.004	0.005	0.008	0.392
	LEA -6T	0.001	0.002	0.004	0.004	0.008	0.392
	NEO-M8T	0.001	0.002	0.004	0.004	0.008	0.392
	ZED-F9P	0.145	0.196	0.263	0.417	0.515	0.647
3A	GEODÉSICO	0.001	0.002	0.004	0.004	0.008	0.392
	LEA -6T	0.002	0.002	0.004	0.005	0.008	0.392
	NEO-M8T	0.002	0.002	0.004	0.005	0.008	0.392
	ZED-F9P	0.003	0.003	0.009	0.008	0.018	0.392

Tabla 12. Desviaciones estándar y cálculo del CEP y EPV, caso B.

Desviaciones estándar							
ID	Receptor				CEP	EPV	EPV-GGM10
1B	Control Geodésico	0.002	0.003	0.002	0.007	0.004	0.392
	ZED-F9P (Ant-LC)	0.005	0.007	0.019	0.015	0.037	0.393
	ZED-F9P (Ant-G)	0.005	0.006	0.019	0.013	0.037	0.393
2B	Control Geodésico	0.002	0.005	0.002	0.009	0.004	0.392
	ZED-F9P (Ant-LC)	0.006	0.007	0.019	0.016	0.037	0.393
	ZED-F9P (Ant-G)	0.005	0.006	0.017	0.013	0.033	0.393

Discusión

Conforme a los resultados encontrados, se confirma que, en algunas circunstancias los receptores de bajo costo de doble frecuencia son útiles en trabajos topográficos-geodésicos de mediana precisión. No obstante, esto fue demostrado y presentado por Romero-Andrade et al. (2020), en el cual, evaluó una línea base larga con receptor de bajo costo en conjunto con una antena similar. En este sentido, los resultados al utilizar una antena de orden geodésico demuestran que la componente vertical es la menos precisa. Al utilizar el modelo GGM10 de INEGI, los resultados obtenidos exceden los valores permisibles siendo una desventaja para los trabajos geodésicos. No obstante, no se realizó una nivelación geométrica y GNSS para comparar los resultados con las especificaciones, sin embargo, de no usar el modelo GGM10, es posible utilizar estas alturas según las especificaciones del proyecto.

Por otro lado, los receptores de bajo costo de una frecuencia resultan ser una buena opción para establecer una línea base, ya que se obtuvieron resultados similares a los expuestos por Zamora Maciel et al.(2020).

Respecto a los intervalos de muestreo, los archivos del receptor de bajo costo ZED-F9P presentan una baja integridad, siendo congruentes con lo reportado en Romero-Andrade et al. (2021). Sin embargo, los resultados obtenidos, son más precisos que cuando se realizan observaciones GNSS en áreas urbanas (Romero-Andrade et al., 2021) implementando el método relativo estático.

Por otro lado, respecto a lograr una alta precisión para trabajos de deformación de la corteza terrestre con receptores de bajo costo GNSS, los resultados alcanzados demuestran que no son óptimos para realizar el análisis de deformación de la corteza, ya que, se encuentra una menor precisión que la reportada por Tunini et al. (2022). Esto se deriva del uso de modelos implementados en softwares científicos y antenas de nueva generación con calibración para mitigar el efecto multitrayectoria.

Conclusion

Con el presente trabajo se estudió, analizó y comparó el comportamiento de las mediciones de diferentes receptores GNSS de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P) respecto a un receptor de orden geodésico, aplicado a dos casos de estudio (A y B), evaluados bajo el método relativo estático, con base a los resultados obtenidos se llega a las siguientes conclusiones:

- El análisis de calidad de las observaciones con receptores de bajo costo de una y doble frecuencia, muestran parámetros dentro de los rangos sugeridos por el IGS, esto a pesar de que las antenas de bajo costo utilizadas en el caso “B” no cuentan con la calibración necesaria (correcciones para hacer llegar la señal al centro de fase de la antena).
- Los receptores de bajo costo (LEA-6T, NEO-M8T y ZED-F9P) no son exentos de errores, sin embargo, cumplen con los parámetros establecidos en la normativa del INEGI en México, satisfaciendo las necesidades de trabajos topógrafo-geodésicos, según la precisión requerida (orden centimétrico). Al ser equipos accesibles, pueden ser utilizados en diferentes campos de investigación que relacionen el uso de posicionamiento con GNSS, como; líneas base cortas y largas, control horizontal y vertical de obras de ingeniería.
- Para la evaluación del CEP, las mediciones se encuentran dentro de los parámetros requeridos para el posicionamiento, dado que para el CEP es necesario un 95% de confiabilidad, los valores obtenidos están dentro del rango establecido (< 5 cm) con un máximo de 8 mm, a excepción del módulo ZED-F9P del punto 2A, debido a que alcanza una diferencia significativa de 0.41 m, este resultado es debido a las variaciones en sus desviaciones estándar, es decir, existe una discrepancia en el posicionamiento para el mismo punto. Por otro lado,

los resultados muestran que para ambos casos se obtienen soluciones favorables con valores milimétricos, que van de los 4 a 8 mm, notándose que para el caso “B”, los receptores de bajo costo en complemento con antena geodésica obtienen una mejora en la exactitud del posicionamiento en cuanto al CEP y EPV, dado que las antenas de bajo costo no portan la calibración del centro de fase de la antena, sin embargo, la diferencia entre resultados es menor a 4 mm, mostrando un buen rendimiento en el posicionamiento, tomando en cuenta que los resultados fueron comparados con los valores obtenidos con un receptor geodésico, en el método relativo estático, los receptores de bajo costo presentaron valores precisos para el CEP y EPV.

- Con base a los resultados obtenidos y considerando el cálculo del EPV al 95% de confiabilidad es posible utilizar las alturas elipsoidales para aplicaciones geodésica, sin embargo, se hace notar que al implementar un modelo geoidal (GGM10) la precisión se degrada considerablemente en la componente vertical, dada la desviación estándar propia del modelo (20 cm).
- Las coordenadas resultantes en el sistema ENU, muestran variaciones mínimas en sus componentes Norte y Este, sin embargo, para la componente vertical, se obtienen las mayores variaciones en ambos casos de estudio, esto puede atribuirse a la pérdida de señal momentánea y al efecto multitrayectoria. En el caso “B” se obtienen mejores soluciones con el receptor de bajo costo en complemento con antena de orden geodésico sobre la de bajo costo.

Al realizar la comparativa de los receptores de bajo costo, y con base en el funcionamiento y resultados obtenidos, estos equipos cumplen con la normativa vigente, dado que es posible alcanzar una precisión del orden centimétrico para posicionamiento relativo estático, siendo factibles para su implementación en trabajos topógrafo-geodésicos de mediana precisión, ya que se obtienen soluciones de máximo 1 cm a una distancia de ~ 31 km (caso B). Es importante recordar que el empleo de estos equipos dependerá de la precisión requerida para cada trabajo a realizar.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad Autónoma de Sinaloa a través de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio mediante los proyectos LA-925059988-E1-2020, P2020- 25-07-1.1.1-11 y PROFAPI 2022 con clave PRO_A1_027. Agradecer a los revisores que ayudaron a mejorar el trabajo. Asimismo, agradecer a Lizbeth Sánchez, Rafaela Llanes, Fernanda

Castelo y Donato Félix por ayudar a realizar las observaciones GNSS utilizadas en la investigación.

References:

1. Cina, A., & Piras, M. (2015). Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5–7), 497–514.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2014.889046>
2. Estey, L. H., & Meertens, C. M. (1999). TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions*, 3(1), 42–49.
3. Estey, L., & Wier, S. (2014). Teqc Tutorial: basics of Teqc use and Teqc products (Issue June).
4. Ferhat, G., Malet, J.-P., & Ulrich, P. (2015). Evaluation of different processing strategies of Continuous GPS (CGPS) observations for landslide monitoring. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 17, 10582.
5. García-Armenteros, J. A. (2020). Monitorización Y Control De Calidad De Las Estaciones De La Red Cgps Topo-Iberia-UJA. *European Scientific Journal*, 16(24).
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n24p1>
6. García Marín, A., Rosique Campoy, M., & Torres Picazo, M. (2012). Historia de las Matemáticas. Introducción histórica a La Geodesia. *El Pensamiento Matemático*, 1–63.
7. 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. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 137, 168–178.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.045>
8. Gill, M., Bisnath, S., Aggrey, J., & Seepersad, G. (2017). Precise Point Positioning (PPP) using low-cost and ultra-low-cost GNSS receivers. 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS 2017, 1(May), 226–236.
<https://doi.org/10.33012/2017.15123>
9. Hamza, V., Stopar, B., & Sterle, O. (2021a). Receivers and Antennas.
10. Hamza, V., Stopar, B., & Sterle, O. (2021b). Testing the Performance of Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers and Antennas. *Sensor*, 21. <https://doi.org/doi.org/10.3390/s21062029>
11. Hernández-Andrade, D., Romero-Andrade, R., Cabanillas-Zavala, J. L., Ávila-Cruz, M., Trejo-Soto, M. E., & Vega-Ayala, A. (2020). Análisis de calidad de las observaciones GPS en estaciones de

- operación continua de libre acceso en México. *European Scientific Journal*, 16(33). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p332>
12. Hernández-Andrade, D., 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. *Geodesy and Geodynamics*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.12.003>
 13. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS Global Navigation Satellite System GPS, GLONASS, Galileo and more*. Springer Wien New York.
 14. IGS. (2015). *IGS Site Guidelines*. Organization, July, 1–9.
 15. INEGI. (2010). *Norma técnica de Estándares de Exactitud Posicional*. 1–12.
 16. INEGI. (2016). *Procesamiento de datos GPS considerando deformaciones del Marco Geodésico*.
 17. Manzini, N., Orcesi, A., Thom, C., Brossault, M. A., Botton, S., Ortiz, M., & Dumoulin, J. (2020). Performance analysis of low-cost GNSS stations for structural health monitoring of civil engineering structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1849320>
 18. Marquez-Azua, B., & DeMets, C. (2009). Deformation of Mexico from continuous GPS from 1993 to 2008. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2008GC002278>
 19. Paziewski, J., Fortunato, M., Mazzoni, A., & Odolinski, R. (2021). An analysis of multi-GNSS observations tracked by recent Android smartphones and smartphone-only relative positioning results. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 175(February), 109162. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109162>
 20. Poluzzi, L., Tavasci, L., Corsini, F., Barbarella, M., & Gandolfi, S. (2019). Low-cost GNSS sensors for monitoring applications. *Applied Geomatics*. <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00268-5>
 21. Ren, X., Zhang, X., Xie, W., Zhang, K., Yuan, Y., & Li, X. (2016). Global Ionospheric Modelling using Multi-GNSS: BeiDou, Galileo, GLONASS and GPS. *Scientific Reports*, 6(September), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep33499>
 22. 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. *Applied Sciences (Switzerland)*, 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app112210642>

23. 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. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.100>
24. Romero-Andrade, Rosendo, 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 topógrfo-geodésicas. *European Scientific Journal*, 16(27), 289–312. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n27p289>
25. Romero-Andrade, Rosendo, 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. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(GNSS Techniques for Land and Structure Monitoring), 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11167669>
26. Souto, M. S. (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. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/6971>
27. Spofford, P. R., & Remondi, B. W. (1994). The national geodetic survey standard GPS format SP3. SP3-a Format) Available from the IGS Website: [Http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/Data/Format/Sp3_docu.Txt](http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/Data/Format/Sp3_docu.Txt).
28. Tomaščík, J., Saloň, Š., & Piroh, R. (2017). Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry*, 90(2), 187–198. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw031>
29. Topcon. (2009). *Manual Reference Topcon Tools* (p. 606). Topcon Tools Reference Manual.
30. Tsakiri, M., Sioulis, A., & Piniotis, G. (2018). The use of low-cost, single-frequency GNSS receivers in mapping surveys. *Survey Review*, 50(358), 46–56. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1222344>
31. Tsakiri, Maria, Sioulis, A., & Piniotis, G. (2017). Compliance of low-cost, single-frequency GNSS receivers to standards consistent with ISO for control surveying. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2017006>
32. Tunini, L., Zuliani, D., & Magrin, A. (2022). Applicability of Cost-Effective GNSS sensor for crustal deformation studies. *Sensors (Basel, Switzerland)*.

33. Wang, J., & Yang, N. (2021). Economical GNSS Chipset for Application in Structural Health & Deformation Monitoring Solution. Smart Surveyors for Land and Water Management - Changes in a New Reality Virtually in the Netherlands, June 2021, 21–25.
34. Wen, Q., Geng, J., Li, G., & Guo, J. (2020). Precise point positioning with ambiguity resolution using an external survey-grade antenna enhanced dual-frequency android GNSS data. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 157, 107634. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107634>
35. Xiao, Y., Yao, M. H., Tang, S. H., Liu, H. F., Xing, P. W., & Zhang, Y. (2020). Data Quality Check and Visual Analysis of Cors Station Based on Anubis Software. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W10(November 2019), 1295–1300. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-3-w10-1295-2020>
36. Yeh, T. K., Liou, Y. A., Wang, C. S., & Chen, C. S. (2008). Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using the GPS data quality indices. *Metrologia*, 45(5), 562–570. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/5/010>
37. Yeh, T. K., Wang, C. S., Chao, B. F., Chen, C. S., & Lee, C. W. (2007). Automatic data-quality monitoring for continuous GPS tracking stations in Taiwan. *Metrologia*, 44(5), 393–401. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/44/5/016>
38. 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 Evaluación de receptores GPS de bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos. *Ciencia Ergo-Sum*, 27, 0–17.
39. Zhang, R., Gao, C., Pan, S., & Shang, R. (2020). Fusion of GNSS and speedometer based on VMD and its application in bridge deformation monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/s20030694>