

Validación de la aplicación Mobile Topographer en proyectos mineros y geológicos de la Universidad de Moa

Keron Samuel Emanuel Niles

nksamuel@minas.ismm.edu.cu

Walkis Herrera Blanco

wherrera@ismm.edu.cu

Luis Alberto Ramírez Meléndez

lrmelendez@ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se diseñó un procedimiento topográfico para la introducción de la aplicación Mobile Topographer en los proyectos ingenieros mineros y geológicos a partir de su comprobación en el polígono de la red de apoyo de la Universidad de Moa. Se utilizó el método estadístico descriptivo para determinar el error absoluto promedio de la suma de las diferencias entre las coordenadas reales de los puntos y las coordenadas medidas en campo. Para la utilización de la aplicación Mobile Topographer se aplicó la metodología de Gutiérrez (2019). La aplicación Mobile Topographer permite validar los resultados medidos con la aplicación en el sistema nacional Cuba Sur, con un permisible de error de 1.501 m en las coordenadas (x), 1.330 m en las coordenadas (y), 1.015 m en las coordenadas (z).

Palabras Claves: aplicación móvil; geolocalización; red de apoyo; Sistema de Posicionamiento Global; puntos topográficos; topografía

Recibido: 1 abril 2023/ Aceptado: 27 julio 2023

Validation of the Mobile Topographer application in mining and geological projects of the University of Moa

Abstract: A topographic procedure was designed for the introduction of the Mobile Topographer application in mining and geological engineering projects based on its verification in the support network polygon of the University of Moa. The descriptive statistical method was used to determine the average absolute error of the sum of the differences between the real coordinates of the points and the coordinates measured in the field. To use the Mobile Topographer application, the Gutiérrez (2019) methodology was applied. The Mobile Topographer application made it possible to validate the results measured with the application in the Cuba Sur national system, with a permissible error of 1,501 m in the coordinates (x), 1,330 m in the coordinates (y), 1,015 m in the coordinates (z).

Keywords: mobile application; geolocation; support net; Global Positioning System; topographic points; topography

Introducción

Las nuevas tecnologías han ganado interés y popularidad dentro de la comunidad científica minera. Los dispositivos portátiles, como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), han sido sustituidos por teléfonos inteligentes y tabletas con receptor GPS integrado, de modo que el mapeo de campo se volvió mucho más fácil y más accesible para un público más amplio. Si bien la posibilidad de utilizar dispositivos móviles y aplicaciones dedicadas para el mapeo de campo tiene una tendencia creciente, se les dedica muy poca atención en las secciones de metodología de los trabajos de investigación. En la Universidad de Moa se aplican estas tecnologías en función del desarrollo científico y docente.

Mucuta (2016) proyectó un polígono de puntos topográficos que garantiza el desarrollo de las clases prácticas en las asignaturas de Topografía General y Topografía Minera, en la Universidad de Moa, lo que permitió la densificación de la red geodésica planimétrica y altimétrica de apoyo a las tareas docentes, así como la incorporación de estos puntos a la red nacional. A su vez propuso el empleo de las nuevas tecnologías como instrumentos topogeodésicos en la etapa de mediciones de campo, aplicando parámetros técnicos obtenidos en investigaciones anteriores. Este polígono está conformado por un sistema de poligonales de enlace que se unen en dos puntos centrales a determinar con observaciones (GPS).

Si embargo estudiantes y profesores de la Universidad de Moa utilizan aplicaciones para androides sin comprobar la exactitud de las coordenadas medidas en el campo. Estas aplicaciones no se comprueban en una red de apoyo topográfica, que permitan comparar y certificar la confiabilidad de las coordenadas para su uso en las labores mineras.

Teniendo en cuenta el desconocimiento de la aplicación Mobile Topographer se hace necesario elaborar un procedimiento que permita introducir esta aplicación en los proyectos ingenieros mineros y geológicos de la Universidad de Moa.

Mobile Topographer registra coordenadas para ubicar puntos en el terreno; los puntos individuales obtenidos con la aplicación se pueden proyectar en mapas o softwares minero como Surfer; también se pueden proyectar listas de puntos y polígonos definidos, lo que permite al topógrafo o minero identificar contornos, también puede indicar dónde hay oleajes y valles. Dichos datos pueden ser utilizados por un ingeniero

para medir el flujo y la trayectoria del agua, lo cual es muy útil en la construcción de estructuras mineras (Yadav & Bhardwaj, 2021; Geremew, Zewdie & Pellikka, 2023).

Urgilez & Delgado (2016), Gutiérrez (2019), Yadav & Bhardwaj (2021) y Godoy *et al.* (2022) concuerdan que Mobile Topographer es una aplicación innovadora, muy útil para el levantamiento de información en campo (puntos). A partir de la misma, es posible delimitar e identificar zonas y lugares de interés. Además de conocer la posición, también sirve para crear Tracks o conjunto de Waypoints; un Waypoints es una coordenada o un punto sobre la superficie terrestre (de Dios & Cruz, 2021). El margen de error de los GPS incorporados en los Smartphone es igual a un de GPS navegador, la cual es de 5 metros, debido al paso de la señal a través de ionósfera o capas de la atmósfera la cual hace que la misma se desvíe de la línea recta que debe existir entre el satélite y el receptor, alargando en consecuencia el tiempo de viaje de la señal.

En este trabajo se diseña un procedimiento topográfico para la introducción de la aplicación Mobile Topographer en los proyectos ingenieros mineros y geológicos a partir de su comprobación en el polígono de la red de apoyo de la Universidad de Moa.

Materiales y métodos

Se usó el método estadístico descriptivo para determinar el error absoluto promedio de la suma de las diferencias entre las coordenadas reales de los puntos y las coordenadas medidas en campo.

Para la utilización de la aplicación Mobile Topograher se aplicó la metodología de Gutiérrez (2019).

Las mediciones obtenidas sobre los puntos topográficos con la aplicación Mobile Topographer fueron obtenidas en el sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) referidas al datum geodésico mundial (WGS84), por lo que fue necesario el uso del programa Surfer para trasforma las coordenadas al sistema cubano.

Descripción general de elementos de la aplicación Mobile Topographer

La figura 1 describe la interfaz de la aplicación Mobile Topographer, además de los pasos a seguir para el correcto uso de cada uno de sus componentes.

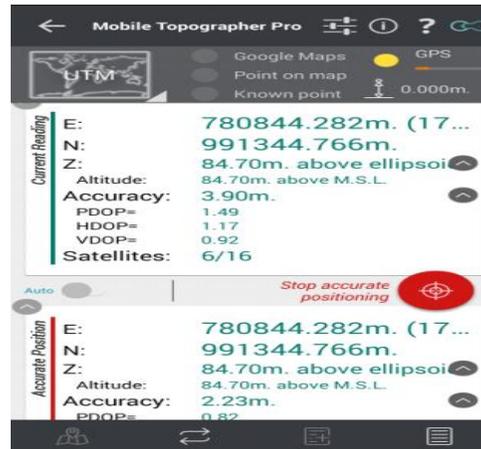


Figura 1. Interfaz de la opción Survey (Gutiérrez, 2019).

Ubicación geográfica de la zona experimental

La zona donde se ubican los puntos topográficos del polígono donde se realizaron las mediciones experimentales está ubicado en la Universidad de Moa, municipio Moa, provincia de Holguín, en las coordenadas geográficas Latitud N 20° 39´ 51.04" y Longitud W 74° 57´ 17.59".

Validación del procedimiento de trabajo en la red de apoyo universidad Moa

Para la validación del procedimiento a seguir para la red de apoyo se utilizaron las coordenadas que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas planas rectangulares de los puntos experimentales.

PUNTOS	Coordenada (x)m	Coordenada (y)m	Coordenada (z)m
PG9	695769.131	224419.738	59.36
PG8	695852.969	224325.557	53.414
PG4	695605.004	224405.952	62.066
GPS2	695615.253	224458.991	65.09
PG2	695592.526	224611.389	61.772

Trabajos organizativos de las mediciones experimentales

Se tomaron mediciones en cinco puntos topográficos que se encuentran en el terreno de la Universidad de Moa. Este trabajo de campo se llevó a cabo durante 3 semanas,

para obtener un porcentaje de mediciones representativas que además permitiera evaluar la incidencia del clima, número de satélites y hora en la variación de las mediciones. La primera medición del punto PG9 se tomó a las 8:00 am, la segunda medición del punto PG8 se tomó a las 8:20 am, la tercera medición del punto PG4 se tomó a las 8:40 am, la cuarta medición del punto GPS2 se tomó a las 9:00 am y la última medición se tomó a las 9:20 am.

Antes de tomar cada medición se tuvo en cuenta el clima, las condiciones atmosféricas y la cantidad de satélites disponibles.

Mediciones experimentales

Se midieron las coordenadas de los cinco puntos topográficos por seis días consecutivos con las tres aplicaciones topográficas (Tablas 2, 3 y 4). Se escogieron las cuatro mediciones de mayor exactitud al compararlas con las coordenadas de la red geodésica nacional que están referenciadas al sistema de coordenadas Cuba Sur.

Tabla 2. Coordenadas medidas con la aplicación Mobile Topographer

Puntos	Coordenadas planas rectangulare			Observaciones
	x	Y	z	
PG9	695768.346	224417.692	59.31	Sol, 22 satélites disponible
	695765.753	224418.506	58.65	Cielo nublado, viento fuerte. 17 satélites disponibles
	695767.391	224418.598	59.01	Poco sol. 20 satélites disponibles
	695767.321	224417.576	60.47	Sol. 20 satélites disponibles
PG8	695851.226	224323.874	51.54	Sol, 21 satélites disponibles
	695850.036	224322.270	51.43	Sol, 19 satélites disponibles
	695850.185	224323.135	53.07	Hace sol, 20 satélites disponible
	695849.862	224323.231	52.76	Día nublado, viento fuerte. 17 satélites disponibles
PG4	695603.221	224404.229	62.08	Sol, 20 satélites disponibles
	695603.639	224403.867	61.55	Sol, 21 satélites disponibles
	695603.344	224403.865	62.76	Sol, 22 satélites disponibles
	695602.569	224404.043	60.85	Viento, 18 satélites disponibles
GPS2	695613.999	224455.124	65.88	Sol 23 satélites disponibles
	695613.897	224454.823	64.23	Sol, 22 satélites disponibles
	695613.971	224455.524	63.66	Poco aire, 22 satélites disponibles
	695614.068	224455.625	65.22	Sol 24 satélites disponibles
PG2	695590.388	224609.817	60.466	Aire, 20 satélites disponibles
	695590.486	224610.513	60.54	Sol, 19 satélites disponibles
	695590.388	224609.817	61.529	Sol, 20 satélites disponibles
	695591.432	224610.469	62.82	Sol, 22 satélites disponibles

Tabla 3. Coordenadas medidas con la aplicación la aplicación UTM Geo Map

Puntos	Coordenadas planas rectangulares(m)			Observaciones
	x	y	z	
PG9	695766.867	224421.656	56.32	Sol, 19 satélites disponibles
	695766.750	224420.345	57.35	Sol, 19 satélites disponibles
	695765.543	224416.5240	59.94	Sol, 18 satélites disponibles
	695764.31	224417.096	57.04	Sol, 19 satélites disponibles
PG8	695853.758	224322.564	50.36	Sol, 25 satélites disponibles
	695851.465	224321.098	51.45	Sol, 19 satélites disponibles
	695850.958	224323.874	52.98	Sol, 19 satélites disponibles
	695849.342	224322.557	54.34	Aire, 15 satélites disponibles
PG4	695601.452	224402.345	60.88	Sol, 21 satélites disponibles
	695603.55	224403.3453	61.45	Sol 19 satélites disponibles
	695605.695	224401.659	62.88	Sol, 23 satélites disponibles
	695603.453	224403.342	60.33	Sol, 23 satélites disponibles
GPS2	695614.342	224453.999	68.88	Sol, 22 satélites disponibles
	695613.434	224454.747	62.07	Sol, 23 satélites disponibles
	695611.445	224454.764	63.66	Sol, 21 satélites disponibles
	695614.434	224453.444	64.52	Sol, 23 satélites disponibles
PG2	695588.474	224609.954	61.55	Aire fuerte, 15 satélites disponibles
	695590.454	224611.444	60.94	Sol, 23 satélites disponibles
	695592.388	224609.958	61.32	Sol, 19 satélites disponibles
	695593.344	224611.439	60.52	Sol, 20 satélites disponibles

Tabla 4. Coordenadas medidas con la aplicación Gps Logger

Puntos	Coordenadas planas rectangulares(m)			Observaciones
	x	y	z	
PG9	695767.353	224416.343	57.66	Sol, 20 satélites disponibles
	695771.698	224416.3523	58.45	Sol, 20 satélites disponibles
	695766.291	224421.5944	59.01	Aire, 18 satélites disponibles
	695767.012	224417.320	61.47	Sol, 19 satélites disponibles
PG8	695854.346	224320.434	52.89	Día nubloso, viento fuertes, 17 satélites disponibles
	695848.096	224322.270	51.43	Aire, 18 satélites disponibles
	695850.435	224323.135	53.07	Sol, 19 satélites disponibles
	695849.624	224322.947	52.36	Aire, 16 satélites disponibles
PG4	695602.874	224403.483	61.88	Sol, 19 satélites disponibles
	695607.943	224403.867	61.55	Sol, 18 satélites disponibles
	695603.344	224403.249	62.76	Sol, 20 satélites disponibles
	695602.569	224404.544	60.85	Sol, 18 satélites disponibles
GPS2	695616.332	224455.124	63.88	Sol, 22 satélites disponibles
	695613.392	224454.342	64.13	Sol, 21satelites disponibles
	695614.715	224457.212	63.44	Sol, 21 satélites disponibles
	695614.068	224454.195	64.52	Sol, 22 satélites disponibles
PG2	695589.324	224609.567	60.466	Viento, 17 satélites disponibles
	695591.343	224611.753	58. 54	Sol, 20 satélites disponibles
	695590.926	224608.817	61.729	Sol, 20 satélites disponibles
	695591.843	224610.469	63.92	Sol, 20 satélites disponibles

Análisis de los resultados obtenidos

El análisis de los resultados obtenidos del estudio práctico que se realizó está basado en la aplicación de los conocimientos de la aproximación de errores, teniendo eso en

cuenta se puede comparar los valores de las coordenadas obtenidos de la red geodésica nacional y los valores de las coordenadas experimentales extraídos del estudio realizado en la red de apoyo de la Universidad de Moa.

El error asociado con un valor aproximado como el resultado de restar esa aproximación del valor verdadero, valor verdadero = aproximación + error con una observación que tanto esta definición como aquella en la que el signo algebraico del error se invierte y se usa en otra parte en la literatura (Hiderbrand, 1974).

La medición es una parte importante de los cálculos científicos. Los resultados de medición completamente precisos son absolutamente raros. Al medir diferentes parámetros, los errores leves son comunes. Hay diferentes tipos de errores, que provocan diferencias en la medición. Todos los errores se pueden expresar en ecuaciones matemáticas. Al conocer los errores, es posible calcular correctamente y encontrar formas de corregir los errores. Hay principalmente dos tipos de errores: errores absolutos y relativos.

Existen dos maneras de cuantificar el error de la medida:

- Mediante el llamado error absoluto, que corresponde a la diferencia entre el valor
- Mediante el llamado error relativo, que corresponde al cociente entre el error absoluto y el valor real f_r .

Se obtienen las siguientes expresiones matemáticas:

$$e_{\text{abs}} = |f_m - f_r| \quad e_{\text{rel}} = \frac{|f_m - f_r|}{f_r}$$

Es importante notar que en las anteriores expresiones el valor real f_r es una cantidad desconocida, por lo que el valor exacto del error absoluto y relativo es igualmente desconocido. Afortunadamente, normalmente es posible establecer un límite superior para el error absoluto y el relativo, lo cual soluciona a efectos prácticos conocer la magnitud exacta del error cometido.

El análisis numérico se ocupa de los métodos para encontrar los valores aproximados y los errores absolutos en estos cálculos. El error absoluto indica la magnitud del error, mientras que el error relativo indica la magnitud del error en relación con el valor correcto.

Porcentaje de error (% de error), también conocido como error porcentual, es una medida de cuánto un valor difiere del valor esperado. Puede usarse para determinar qué tan lejos está un valor esperado de otro valor, pero a menudo se usa en el contexto de experimentos científicos.

Este valor se calcula usando la fórmula:

$$\% \text{ de error} = \frac{|f_m - f_r|}{f_r} \times 100$$

Las tablas 5, 6, 7, 8 y 9 muestran los resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas con las tres aplicaciones en los puntos PG9, PG8, PG4, GPS2 y PG2 respectivamente.

Tabla 5. Resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas en el punto topográfico PG9 con las tres aplicaciones móviles

Aplicación Móvil	Error absoluto (m)			Error relativo (m)			Porcentaje de error (%)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Mobile Topographer	0.79	1.05	0.05	0.000001	0.000009	0.00084232	0.000112863	0.0009114	0.08423181
	1.38	1.23	0.31	0.000005	0.000005	0.01196092	0.000485492	0.00054861	1.19609164
	1.74	1.14	0.35	0.000003	0.000005	0.00589623	0.00025007	0.00050977	0.58962264
	1.81	1.16	1.11	0.000003	0.000010	0.01869946	0.000260196	0.00096338	1.86994609
UTM Geo Map	2.26	1.92	3.04	0.000003	0.000009	0.05121294	0.000325395	0.00085465	5.1212938
	2.38	0.61	2.01	0.000003	0.000003	0.03386119	0.000342211	0.00027048	3.3861186
	3.59	3.21	0.58	0.000005	0.000014	0.00977089	0.000515688	0.00143214	0.97708895
	4.82	2.64	2.32	0.000007	0.000012	0.03908356	0.000692902	0.00117726	3.9083558
GPS Logger	1.78	3.40	1.7	0.000003	0.000015	0.02863881	0.000255545	0.00151279	2.8638814
	2.57	3.39	0.91	0.000004	0.000015	0.01533019	0.000368944	0.00150865	1.53301887
	2.84	1.86	0.35	0.000004	0.000008	0.00589623	0.000408181	0.0008272	0.58962264
	2.12	2.42	2.11	0.000003	0.000011	0.03554582	0.000304555	0.00107745	3.55458221

Tabla 6. Resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas en el punto topográfico PG8 con las tres aplicaciones móviles

Aplicación Móvil	Error absoluto (m)			Error relativo (m)			Porcentaje de error (%)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Mobile Topographer	1.74	1.68	1.874	0.000003	0.000007	0.03508443	0.000250552	0.00074985	3.50844348
	1.93	1.29	1.984	0.000004	0.000015	0.03714382	0.000421546	0.00146514	3.714382
	1.78	1.42	0.344	0.000004	0.000011	0.00644026	0.000400094	0.00107952	0.64402591
	1.11	1.33	0.654	0.000004	0.000010	0.01224398	0.000446544	0.00103655	1.2243981
UTM Geo Map	0.79	2.99	3.054	0.000001	0.000013	0.05717602	0.000113386	0.00133422	5.71760213
	1.50	4.46	1.964	0.000002	0.000020	0.03676939	0.000216138	0.00198774	3.67693863
	2.01	1.68	0.434	0.000003	0.000008	0.00812521	0.000288998	0.00075025	0.81252106
	3.63	3.00	0.926	0.000005	0.000013	0.01733628	0.000521231	0.00133734	1.73362789
GPS Logger	1.38	5.12	0.524	0.000002	0.000023	0.00981016	0.000197887	0.00228333	0.98101621
	4.87	3.29	1.984	0.000007	0.000015	0.03714382	0.000700292	0.00146515	3.714382
	2.53	2.42	0.344	0.000004	0.000011	0.00644026	0.000364157	0.0010795	0.64402591
	3.35	2.61	1.054	0.000005	0.000012	0.01973265	0.000480705	0.0011634	1.97326544

Tabla 7. Resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas en el punto topográfico PG4 con las tres aplicaciones móviles

Aplicación móvil	Error absoluto (m)			Error relativo(m)			Porcentaje de error (%)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Mobile Topographer	1.78	1.72	0.014	0.000003	0.000008	0.00022557	0.000256312	0.00076751	0.02255663
	1.36	1.08	0.516	0.000002	0.000009	0.00831373	0.000196181	0.00092901	0.83137305
	1.66	1.09	0.694	0.000002	0.000009	0.01118165	0.000238605	0.00092961	1.11816453
	1.44	1.91	1.216	0.000004	0.000009	0.01959205	0.000350065	0.0008506	1.95920472
UTM Geo Map	3.55	3.61	1.186	0.000005	0.000016	0.01910869	0.000510635	0.00160735	1.91086907
	1.45	2.61	0.616	0.000002	0.000012	0.00992492	0.000209027	0.0011616	0.99249186
	0.69	4.29	0.814	0.000001	0.000019	0.01311507	9.9338E-05	0.00191305	1.31150711
	1.55	2.61	1.736	0.000002	0.000012	0.02797023	0.000222971	0.00116307	2.79702252
GPS Logger	2.13	2.47	0.186	0.000003	0.000011	0.00299681	0.000306208	0.00109993	0.29968098
	2.94	2.08	0.516	0.000004	0.000009	0.00831373	0.00042251	0.00092903	0.83137305
	1.66	2.70	0.694	0.000002	0.000012	0.01118165	0.000238641	0.00120451	1.11816453
	2.43	1.41	1.216	0.000004	0.000006	0.01959205	0.000350055	0.00062735	1.95920472

Tabla 8. Resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas en el punto topográfico GPS2 con las tres aplicaciones móviles

Aplicación móvil	Error absoluto (m)			Error relativo (m)			Porcentaje de error (%)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Mobile Topographer	1.25	1.87	0.79	0.000002	0.000017	0.01213704	0.000180338	0.0017227	1.2137041
	1.36	1.17	0.86	0.000002	0.000019	0.01321248	0.000194949	0.00185692	1.3212475
	1.28	1.47	1.43	0.000002	0.000015	0.02196958	0.000184297	0.00154456	2.19695806
	1.19	1.37	0.13	0.000002	0.000015	0.00199723	0.000170367	0.0014995	0.19972346
UTM Geo Map	0.91	4.99	3.79	0.000001	0.000022	0.05822707	0.000130963	0.00222401	5.82270702
	1.82	4.24	3.02	0.000003	0.000019	0.0463973	0.000261495	0.00189077	4.63972961
	3.81	4.23	1.43	0.000005	0.000019	0.02196958	0.000547429	0.00188319	2.19695806
	0.82	5.55	0.57	0.000001	0.000025	0.00875711	0.000117737	0.00247128	0.87571055
GPS Logger	1.08	3.87	1.21	0.000002	0.000017	0.01858965	0.000155114	0.00172268	1.85896451
	1.86	4.65	0.96	0.000003	0.000021	0.01474881	0.000267533	0.0020712	1.47488093
	0.54	1.78	1.65	0.000001	0.000008	0.02534952	7.73416E-05	0.00079244	2.53495161
	1.19	4.80	0.57	0.000002	0.000021	0.00875711	0.000170353	0.00213656	0.87571055

Tabla 9. Resultados obtenidos del cálculo de los errores para las coordenadas medidas en el punto topográfico PG2 con las tres aplicaciones móviles

Aplicación móvil	Error absoluto (m)			Error relativo (m)			Porcentaje de error (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Mobile Topographer	1.14	1.57	1.306	0.000003	0.000007	0.02114227	0.000307296	0.0006995	2.11422651
	1.04	0.88	1.232	0.000003	0.000004	0.01994431	0.000293326	0.00038991	1.99443113
	1.14	1.57	0.243	0.000003	0.000007	0.00393382	0.000307296	0.0006995	0.39338211
	1.09	0.92	1.048	0.000002	0.000004	0.01696562	0.000157345	0.00040919	1.69656155
UTM Geo Map	4.05	1.43	0.222	0.000006	0.000006	0.00359386	0.000582525	0.00063853	0.35938613
	2.07	0.06	0.832	0.000003	0.000000	0.01346889	0.000297876	2.4576E-05	1.34688856
	0.14	1.43	0.452	0.000000	0.000006	0.00731723	1.98392E-05	0.0006371	0.73172311
	0.82	0.05	1.252	0.000001	0.000000	0.02026808	0.000117598	2.2261E-05	2.02680826
GPS Logger	3.20	1.82	1.306	0.000005	0.000008	0.02114227	0.000460327	0.00081082	2.11422651
	1.18	0.36	3.232	0.000002	0.000002	0.05232144	0.000170071	0.00016215	5.23214401
	1.60	2.57	0.043	0.000002	0.000011	0.00069611	0.00023002	0.00114473	0.06961083
	0.68	0.92	2.148	0.000001	0.000004	0.03477304	9.81897E-05	0.0004092	3.47730363

Después de evaluar los valores medidos, se observó que cuando el clima estaba nublado y con viento, el error absoluto aumentaba, lo que provocaba una reducción en la cantidad de satélites disponibles para la aplicación. Sin embargo, cuando las condiciones climáticas eran más deseables, hubo un aumento definitivo en el número de satélites disponibles, lo que mejoró la precisión de las mediciones que se tomaban, lo que dio como resultado un error absoluto más bajo.

Entre las tres aplicaciones utilizadas, se observó que, en general, Mobile Topographer tenía más satélites disponibles para realizar el trabajo de campo, incluso cuando las condiciones climáticas no eran perfectas. Indicando así la superioridad que tiene el topógrafo móvil en comparación con las demás aplicaciones que se utilizan en este estudio.

El error absoluto medio (MAE) mide la distancia entre los valores predichos y los valores observados, se realizaron por los pasos de la formula.

1) MAE suma el valor absoluto del residual

2) Divide por el número de observaciones

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j|$$

Cuanto más cerca esté MAE de 0, más preciso será el modelo. Pero MAE se devuelve en la misma escala que el objetivo para el que está prediciendo y, por lo tanto, no existe una regla general para determinar qué es un buen puntaje. Lo bueno que es su puntaje solo se puede evaluar dentro de su conjunto de datos (Allwright, 2022).

Se calculó el error absoluto medio en Software EXCEL de todas las coordenadas que se midieron en cada aplicación móvil para analizar la precisión de la medición (Figura 2).

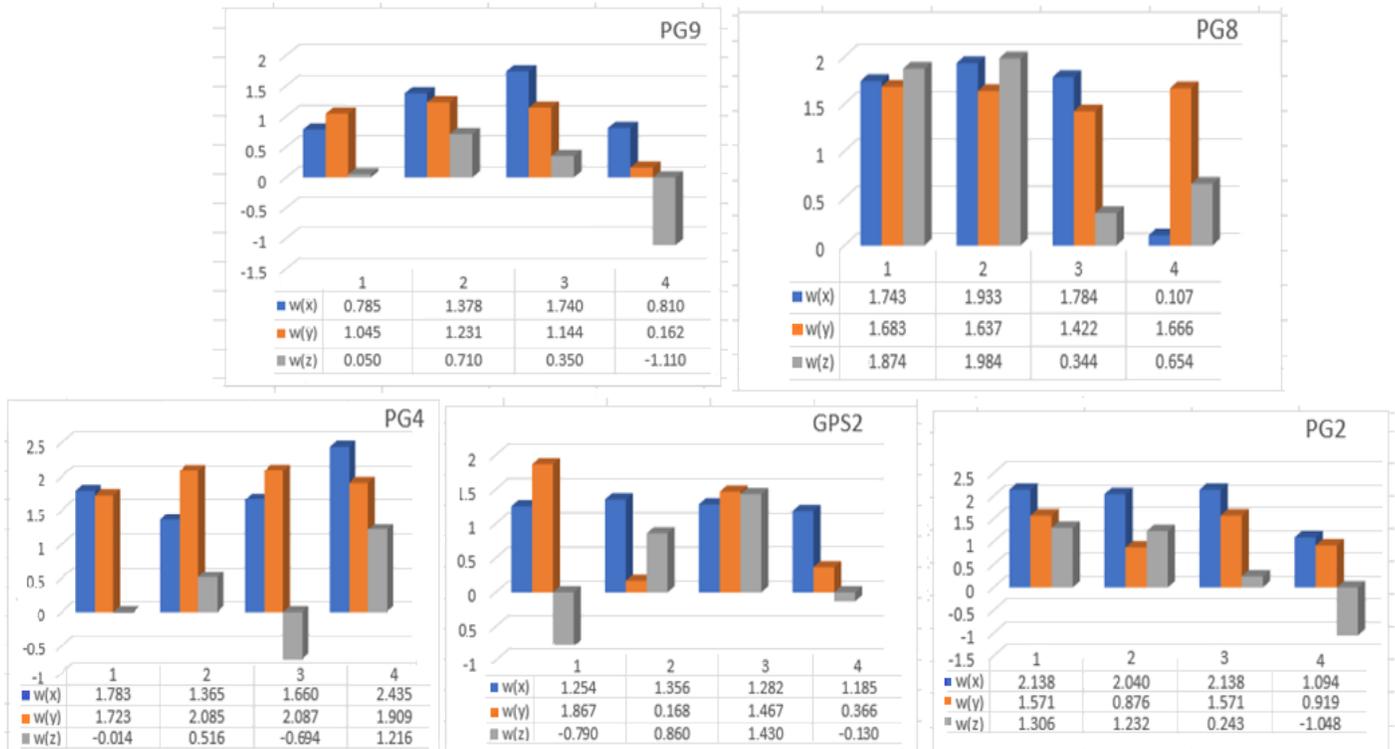


Figura 2. Resultados del cálculo del error absoluto medio de Mobile Topographer en cada punto topográfico.

Tabla 10. Resultados obtenidos del cálculo del error absoluto medio de las tres aplicaciones móviles topográficas

Aplicación	Error absoluto y medio		
	x	y	z
Móvil Topographer	1.501	1.330	1.013
UTM Geo Map	2.133	2.7803	1.5124
GPS Logger	2.0965	2.697	1.9005

Los valores representados en la figura 3 representan el error absoluto promedio de la suma de las diferencias entre las coordenadas reales de los puntos y las coordenadas medidas en campo con las tres aplicaciones, aunque existe diferencias en las tres aplicaciones los valores que más se aproximan a las coordenadas reales del punto se midieron con la aplicación Mobile Topographer.

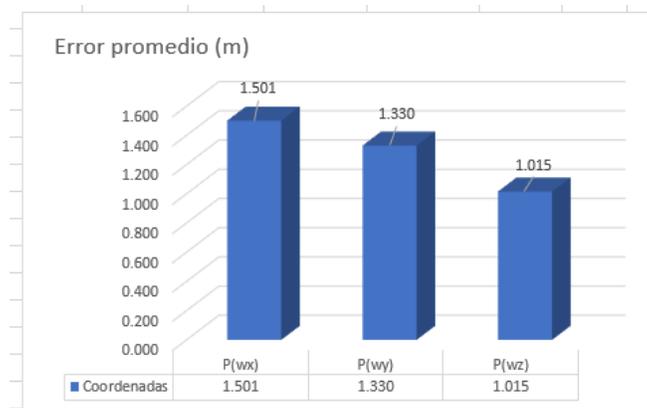


Figura 3. Resultados obtenidos del cálculo del error absoluto medio de Mobile Topographer.

Conclusiones

Se realizó un análisis de las aplicaciones para androides de topografía. Se determinó que la aplicación Mobile Topographer es la idónea para el diseño de un procedimiento topográfico en los proyectos ingenieros mineros y geológicos.

La aplicación Mobile Topographer permitió validar los resultados medidos con la aplicación en el sistema nacional Cuba Sur, con un permisible de error de 1.501 m en las coordenadas (x), 1.330m en las coordenadas (y), 1.015m en las coordenadas (z).

Se valida la aplicación Mobile Topographer en los proyectos ingenieros mineros y geológicos a partir de su comprobación en el polígono de la red de apoyo de la Universidad de Moa.

Referencias bibliográficas

- ALLWRIGHT, S. (2022). *What is a good MAE score? (simply explained)*. Stephen Allwright. <https://stephenallwright-com.translate.goog/good-mae-score>.
- DE DIOS, E. E. & CRUZ, I. (2021). Desarrollo de software de geolocalización y personalización de trayectorias de G0ogle Maps utilizando React native. *Anuario 2020*, 2(2), 9-22. <http://anuarioinvestigacion.um.edu.mx/inedex.php/a2020/article/view/208>.
- FUENTES, M. (2020). *Manual Del Usuario Mobile Topographer*. Scribd. <https://www.scribd.com/document/522540353/MANUAL-DEL-USUARIO-MOBILE-TOPOGRAPHER-GIS-2>.

- GEREMEW, T., ZEWDIE, W. & PELLIKKA, P. (2023). Mapeo de la extensión del ecosistema mediante la integración de Landsat 8, PALSAR-2 y Gedi Lidar. *Geomática aplicada*, 15(1), 61-76. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00485-5>.
- GODOY, C., DALMASSO, J., FERRARI, F. & MONTOYA, M. (2022). Sistema de información geográfica para la evaluación de parcelas de ensayo en campo experimental, *Memorias de las JAIIO*, 8(4), 199-202. <https://publicaciones.sadio.org/.ar/indx.php/JAIIO/article/view/435>.
- GUTIÉRREZ, A. (2019). *Manual Mobile Topographer Pro*. www.scribd.com.
- HILDEBRAND, F. B. (1974). *Introduction to numerical analysis*. McGraw-Hill.
- MUCUTA, H. (2016). Polígono de puntos topográficos con fines docentes en el Instituto Superior Minero Metalúrgico. *Ciencia & Futuro*, 6(3), 32-46. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/issue/view/129>.
- URGILEZ, C. A; DELGADO, I. O. (2016). *Mobile Topographer Free. Manual de Uso*. Universidad del Azuay. *PDFSLIDE.NET*. <https://pdfslide.net/documents>.
- YADAV, U. & BHARDWAJ, A. (2021). Evaluación de la precisión de CartoDEM V3 R1 y TanDEM-X 90 de acceso abierto utilizando un teléfono inteligente con GPS asistido para la ciudad de Ratlam y sus alrededores. *Actas de Ingeniería*, 10(1), 64-70. <http://doi.org/10.3390/ecsa-8-11328>.