

ELABORACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA CUENCA EXPERIMENTAL TORRE RAYÓN, SONORA

Development of a high resolution digital elevation model of experimental watershed Torre Rayon, Sonora

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

M.C. Juan Alejandro Saiz Rodríguez¹
 Ing. Sughey Alejandra Miranda Torres²
 Ing. Alejandra Castro Valencia³
 Ing. Ramón Saiz Rodríguez⁴
 Dr. Juan Arcadio Saiz Hernández⁵

Recibido: 17 de septiembre de 2016,

Aceptado: 23 de mayo de 2017

Autor de Correspondencia:

M.C. Juan Alejandro Saiz Rodríguez

Correo: juan.saiz@dicym.uson.mx

Resumen

Se desarrolla una procedimiento basado en ArcGIS para la obtención de un modelo digital de elevaciones de alta resolución espacial a partir de puntos de coordenadas (x,y,z) tomados con un sistema de posicionamiento global de doble frecuencia. El modelo se contrasta con valores de altitud tomados con Estación Total, resultando parámetros estadísticos muy similares entre sí y un error cuadrático medio igual a 0.1401, lo que indica la confiabilidad del producto para ser utilizado en estudios avanzados de Hidrología e Hidráulica Fluvial de microcuencas.

Palabras clave: GPS, Estación Total, microcuencas

Abstract

A procedure based on ArcGIS is developed for obtaining a high resolution digital elevations model from points of coordinates (x, y, z) taken with a global positioning system dual frequency. The model is contrasted with altitude values taken with Total Station and statistical parameters result very similar to each other and mean square error equals to 0.1401, indicates the reliability of the product to be used in advanced Hydrology studies and Fluvial Hydraulics in micro watersheds.

Keywords: GPS, Total station, micro watersheds

¹ Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: juan.saiz@dicym.uson.mx

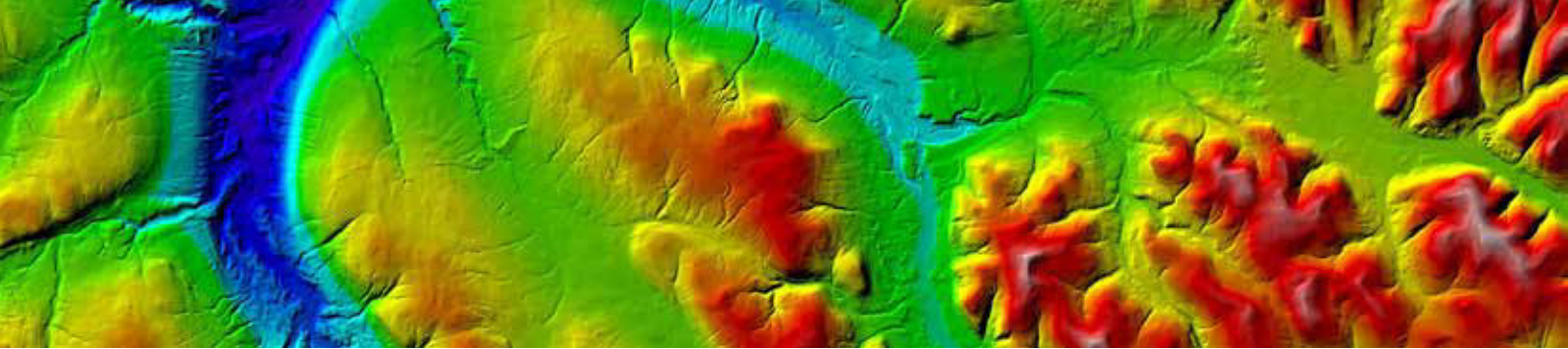
² Estudiante Ingeniera Civil, Universidad de Sonora / Correo electrónico: sugheymiranda@gmail.com

³ Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: acastro@dicym.uson.mx

⁴ Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: ramón.saiz@unison.mx

⁵ Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora / Correo electrónico: jsaiz@dicym.uson.mx





INTRODUCCIÓN

Un modelo digital de elevaciones (MDE) es la representación digital de las formas del relieve terrestre de manera estimada y simplificada, que se define por la distribución espacial regular de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar [1] y consiste en un arreglo matricial de elevaciones para un número determinado de posiciones espaciadas en intervalos regulares [2].

El MDE constituye un elemento invaluable para estudios de Ciencias de la Tierra y proyectos de administración y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Originalmente se utilizaron para analizar la pendiente, el aspecto y el sombreado del terreno, delineado de depresiones, flujo por tierra, trayectos de flujo y delineación de cuencas [3]. Posteriormente, las aplicaciones crecieron en calidad y cantidad, siendo utilizados para agricultura de precisión, en la que las propiedades inherentes al suelo y la topografía controlan el movimiento del agua [4] que se representa por el parámetro de índice de humedad topográfico con el que se puede determinar la profundidad de labranza y la cantidad de fertilizantes de manera óptima [5]. También se han desarrollado aplicaciones para estudios forestales, en los que se ha delineado la copa de los árboles [6] o evaluado parámetros de bosques con procedimientos semiautomatizados con la mínima interacción de las personas [7]. Los modelos digitales también han sido utilizados para estudios de erosión en cuencas rurales [8] y en áreas agrícolas [9] para analizar y controlar la pérdida de suelo. Las aplicaciones en Hidrología son las más generalizadas y para las que se han desarrollado más aplicaciones informáticas y los modelos digitales de elevación en su estructura ráster [10] o de red de triángulos irregulares [11] (TIN), son el elemento fundamental para la modelación hidrológica avanzada que se desarrolla sobre Sistemas de Información Geográfica [11, 10].

Los MDE se elaboran con diversos métodos y muy variada tecnología. Pueden ser creados con un proceso de digitalización e interpolación a partir de la digitalización de cartografía topográfica [12], mediante fotogrametría aérea o satelital [13] o con medidas que se realizan directamente sobre el terreno real, como el DEM de 90 m generado por la misión topográfica con radar del transbordador espacial (SRTM) [14] y el de 30 m obtenido con el Radiómetro Térmico de Emisión y Reflexión (ASTER) [15] que cubren todo el planeta.

Los DEM's generados con estas metodologías son de gran calidad y precisión; sin embargo, en cuencas muy

pequeñas, de 1 a 5 hectómetros, no proporcionan información suficiente, por lo que existe alternativas como el LIDAR (Detección y Medición a Través de la Luz), que permite elaborar DEM's de 1.0 m [16] o de menor resolución o bien con mallas de puntos registrados con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), con lo que es posible estudiar áreas pequeñas [17].

En México se tiene acceso a las tecnologías mencionadas para elaborar MDE's; sin embargo, las condiciones típicas de cobertura vegetal y climáticas de las zonas áridas, hacen que la creación de un modelo con GPS sea una opción económica en la región, por lo que este trabajo tiene como objetivo mostrar un procedimiento para elaborar un MDE de alta resolución espacial de la cuenca experimental Torre Rayón a partir de una malla irregular de puntos registrados con un GPS en modo RTK y los resultados se validan con un conjunto de puntos tomados con Estación Total.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio, figura 1, lo constituye la cuenca de 2.158 hm² delimitada por las coordenadas UTM (544600,3290400); (54500, 3290400); (544500, 3290000) y (545000, 3290000) y está localizado a 4.1 km al noreste de Rayón, Sonora.

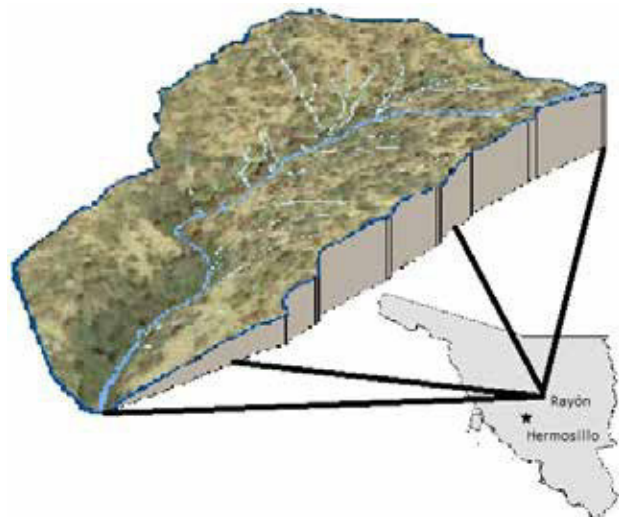


Figura 1. Localización del sitio de estudio.

En el área predomina el clima seco a muy seco, con precipitación inferior a los 400 mm al año y su temperatura media anual de 18 a 26 °C, por lo que se considera clima extremo. Predomina la vegetación desértica como mezquite,

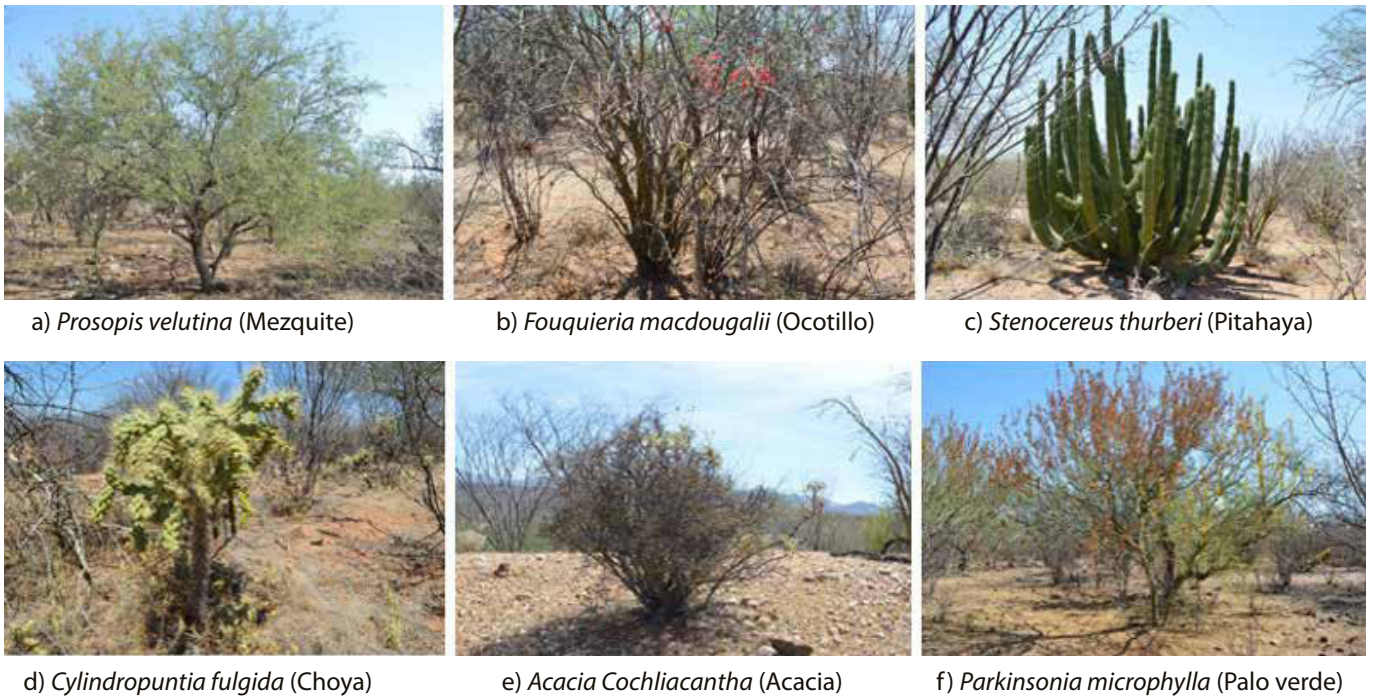


Figura 2. Vegetación típica en el sitio de estudio. Estudio topográfico.

ocotillo, pitahaya, choya, acacia y palo verde (figura 2) que presenta un mayor porcentaje de cobertura vegetal durante el Monzón de Norteamérica fenómeno climatológico que produce cerca del 70% de la precipitación en la región.

Se generó una malla irregular de puntos con un GPS Zenith 20 GPS RTK Network Rover GSM. Marca GeoMax: en modo RTK (modo cinemático en tiempo real).

De acuerdo al plan de trabajo, se delimitó la cuenca con un polígono que abarcó todo el parteaguas y posteriormente se cubrió toda el área con puntos a una separación máxima de 3 m. El eje del cauce y a los taludes laterales, se levantó con mayor densidad de puntos para delinearlos y trazar sus secciones transversales. Durante el procedimiento se verificó que la señal de radio entre la estación fija y el receptor móvil se mantuviera intensa, en caso contrario se cambiaba la base. Continuamente se verificaban los puntos y se observaban las obstrucciones o posibles factores por los cuales no se obtenía la precisión deseada. Se evitó, en la medida de lo posible, realizar toma de datos después de las 14:00 horas, debido a la débil señal captada de satélites en esta zona horaria.

Los primeros levantamientos en campo se realizaron durante los meses enero y febrero, trabajándose también en julio y posteriormente de octubre a diciembre de 2014. En este último período la vegetación era demasiado densa y no permitió obtener datos precisos. El programa de trabajo se replanteó, reprogramándose el levantamiento para los meses más secos, en los que la vegetación no tiene follaje y se tiene un mejor funcionamiento del sistema GPS.

Elaboración del modelo digital de elevaciones

Para elaborar el MDE se utilizó una computadora DELL, con procesador: Intel® Core™ i7-2600 CPU y los programas informáticos AutoCAD R15 y ArcGIS 10.2.2.

Para la creación del DEM se activó la extensión *Geostatistical Analyst* de ArcGIS y la herramienta ArcToolbox. Los datos (x,y,z) obtenidos con el GPS se almacenaron en forma tabular (figura 3) y para asegurar la calidad de los datos, se utilizó la herramienta *Trend analysis*. Posteriormente con la herramienta *Create TIN*, se creó el modelo TIN. Los datos de entrada y los resultados del proceso se referenciaron espacialmente en coordenadas UTM de la zona 12, con Datum WGS84.



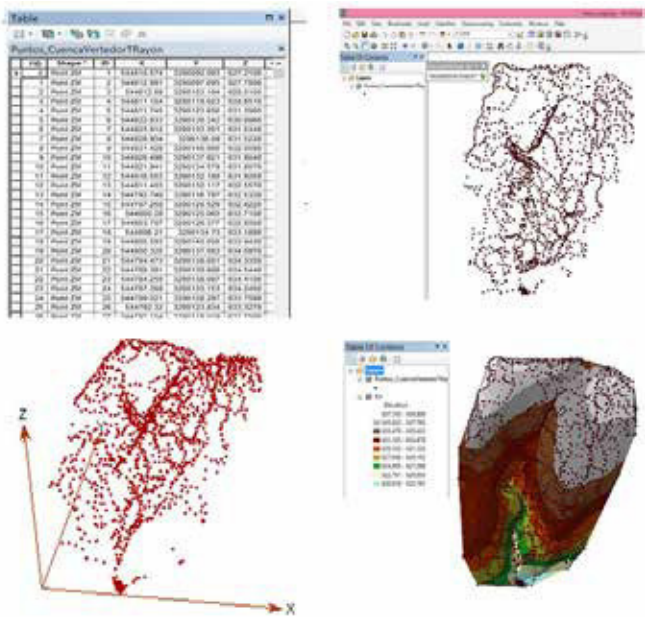


Figura 3. Procedimiento para crear el modelo TIN.

A partir del TIN, con la secuencia de instrucciones 3d Analyst→Conversion→From IN→TIN to raster de ArcTool-Box se generó el modelo digital en estructura ráster, al que se agregó la ubicación del vertedor de pared delgada con que se mide el escurrimiento de la microcuenca experimental de Torre Rayón (figura 4). La malla tiene una resolución de 1.0 m x 1.0 m, que es la más acorde al espaciamiento con que se tomaron los puntos con el GPS. Entre más fina es la malla de puntos (x,y,z), menor el tamaño del píxel con el que se puede construir el MDE.

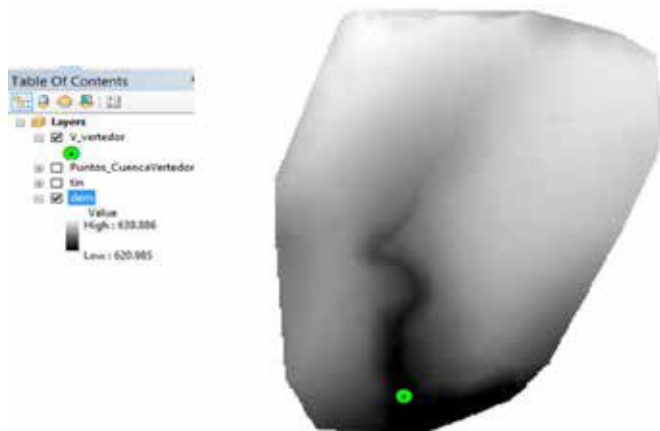


Figura 4. Modelo digital de elevaciones ráster de alta resolución.

Precisión del MDE

Se tomaron puntos con una estación total Geomax serie ZT20 en la porción baja de la cuenca (figura 5), que

se caracteriza por sus pendientes pronunciadas y densa vegetación, a pesar de lo que se pudo tomar gran cantidad de puntos en el cauce principal de la cuenca. El equipo se ubicó en un sitio que permitió una buena visibilidad desde donde se capturaron puntos en cauces, zonas medias y altas representativas de la vertiente que se correlacionaron con las altitudes correspondientes en el MDE construido a partir de la malla generada con el GPS.

La comparación se realizó entre las elevaciones de los puntos tomados con Estación Total y los correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución, que fueron extraídas del modelo con herramientas de ArcGIS.

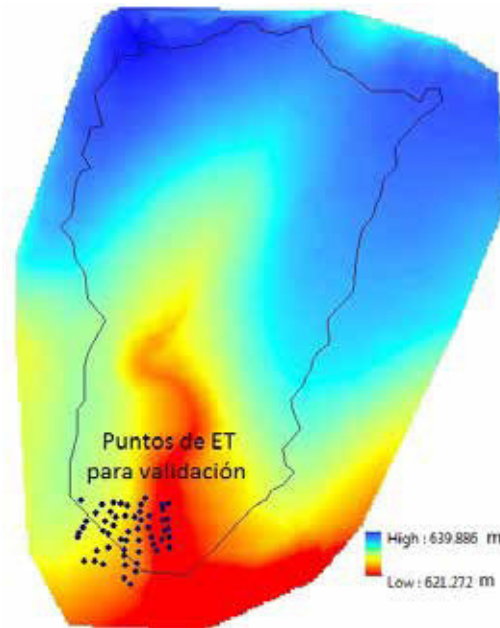


Figura 5. Puntos tomados con estación total zona baja de la cuenca.

Se realizó un análisis de correlación entre las altitudes medidas con la estación total y las correspondientes extraídas del modelo digital. También se calcularon la media, desviación estándar y el error medio cuadrático (tabla 1).

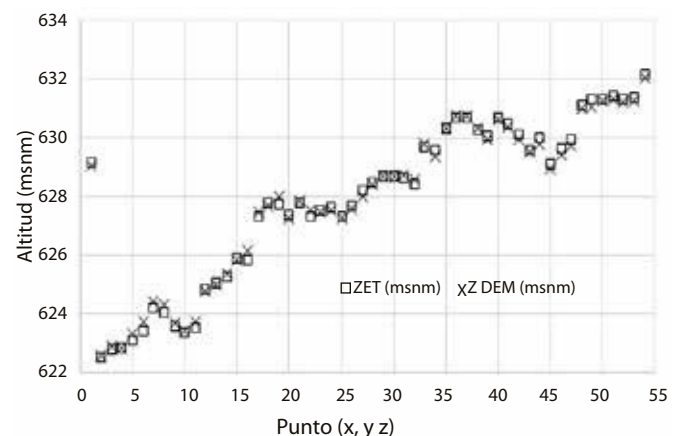


Figura 6. Comparación de altitudes de GPS y ET.

Tabla 1. Análisis estadístico de las altitudes del modelo.

Punto	Z _{ET}	Z _{MDE}	Z _{ET} Z _{MDE}	(Z _{ET} Z _{MDE}) ²	Punto	Z _{ET}	Z _{MDE}	Z _{ET} Z _{MDE}	(Z _{ET} Z _{MDE}) ²
1	629.167	629.094	0.073	0.005	30	628.712	628.711	0.001	0.000
2	622.542	622.608	-0.066	0.004	31	628.648	628.750	-0.102	0.010
3	622.781	622.916	-0.135	0.018	32	628.425	628.610	-0.185	0.034
4	622.881	622.867	0.014	0.000	33	629.708	629.824	-0.116	0.013
5	623.133	623.342	-0.209	0.044	34	629.581	629.408	0.173	0.030
6	623.442	623.740	-0.298	0.089	35	630.358	630.334	0.024	0.001
7	624.250	624.447	-0.197	0.039	36	630.725	630.765	-0.040	0.002
8	624.063	624.324	-0.261	0.068	37	630.676	630.741	-0.065	0.004
9	623.613	623.676	-0.063	0.004	38	630.261	630.337	-0.076	0.006
10	623.368	623.437	-0.069	0.005	39	630.081	629.978	0.103	0.011
11	623.536	623.751	-0.215	0.046	40	630.682	630.640	0.042	0.002
12	624.854	624.821	0.033	0.001	41	630.482	630.388	0.094	0.009
13	625.066	625.032	0.034	0.001	42	630.119	629.972	0.147	0.021
14	625.298	625.367	-0.069	0.005	43	629.617	629.531	0.086	0.007
15	625.894	625.875	0.019	0.000	44	629.998	629.831	0.167	0.028
16	625.872	626.152	-0.280	0.079	45	629.101	628.958	0.143	0.021
17	627.309	627.469	-0.160	0.026	46	629.632	629.459	0.173	0.030
18	627.794	627.723	0.071	0.005	47	629.939	629.733	0.206	0.042
19	627.732	628.025	-0.293	0.086	48	631.142	631.016	0.126	0.016
20	627.380	627.252	0.128	0.016	49	631.313	631.057	0.256	0.066
21	627.787	627.868	-0.081	0.007	50	631.331	631.271	0.060	0.004
22	627.345	627.539	-0.194	0.038	51	631.463	631.315	0.148	0.022
23	627.525	627.492	0.033	0.001	52	631.335	631.233	0.102	0.010
24	627.671	627.548	0.123	0.015	53	631.391	631.274	0.117	0.014
25	627.346	627.282	0.064	0.004	54	632.176	632.089	0.087	0.008
26	627.710	627.602	0.108	0.012	Suma=	33907.63	33907.63		1.060
27	628.206	628.029	0.177	0.031	Promedio=	627.92	627.92	0.000	0.020
28	628.481	628.437	0.044	0.002	Desv. Est=	2.78	2.70	0.141	0.023
29	628.687	628.690	-0.003	0.000	EMC=				0.140

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a la precisión del modelo, en la tabla 1 se puede apreciar que no hay diferencia entre la media de los altitudes medidas con la Estación Total (Z_{ET}) y las correspondientes en el modelo (Z_{MDE}), resultando igual a 627.92 msnm en ambos conjuntos de datos. La media de las altitudes, resultó igual a 627.92 en los dos conjuntos de datos, mientras que la desviación estándar fue 2.78 para los valores de altitud medidos con la estación total (Z_{ET}) y de 2.70 para los correspondientes en el modelo digital (Z_{MDE}). Estos resultados y el error medio cuadrático estimado de 0.140, muestran que no hay una diferencia significativa en los valores de altitud.

En las figura 7, se muestra el resultado del análisis de correlación entre las altitudes tomadas con el GPS y las de los puntos correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución. Se aprecia una buena correlación, observándose una levemente mayor dispersión en los puntos de baja altitud, que corresponden a las áreas donde se localizan los cauces de la cuenca y que también se caracterizan por ser los de vegetación más densa y alta, que dificulta la transmisión de la señal entre la base del GPS y el dispositivo de captura de datos.

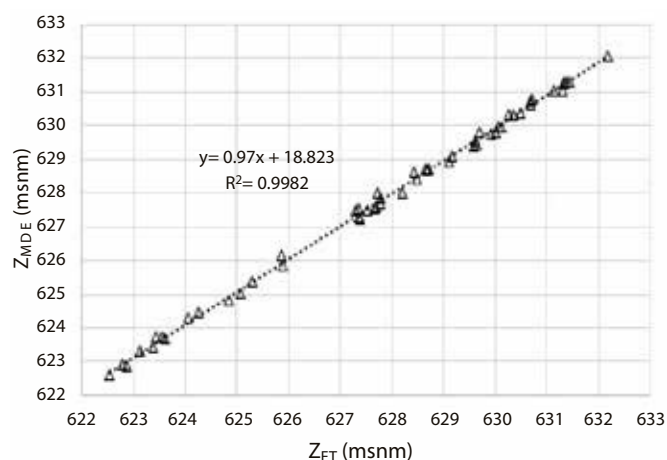


Figura 7. Análisis de correlación entre altitudes.

El modelo digital puede ayudar a visualizar el terreno con diferentes vistas (figura 8) que pueden ser en perspectiva en 3D con paletas de colores que realcen ciertos rasgos o con imágenes ráster superpuestas (figura 9) opción que lo convierte en una herramienta muy valiosa para analizar rasgos de la superficie del terreno.

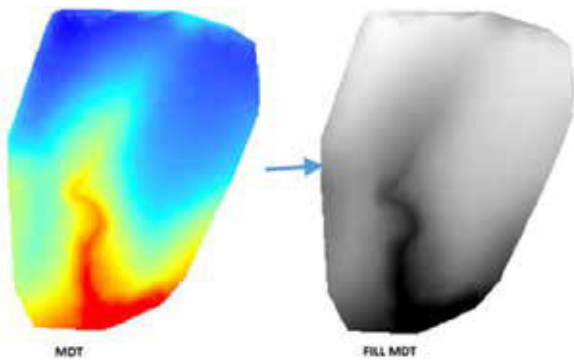
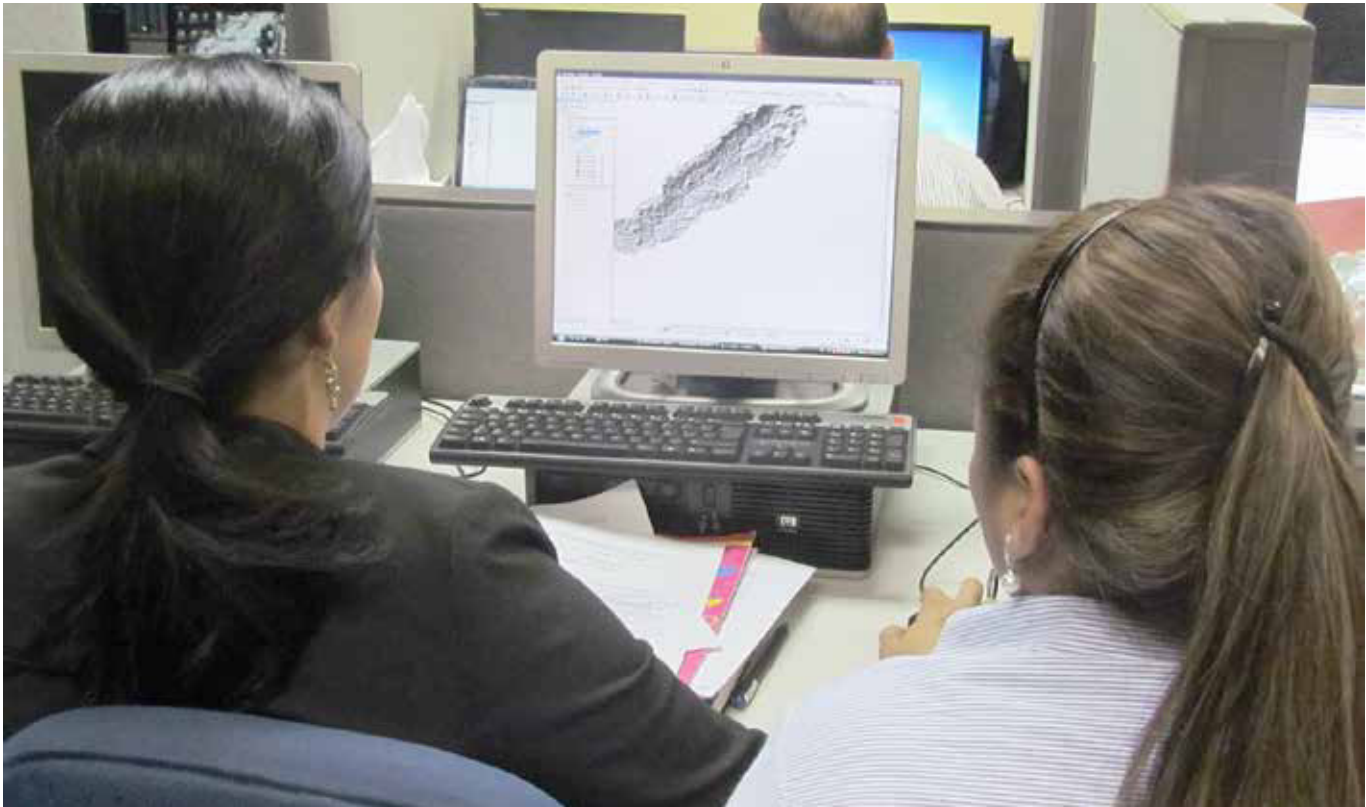


Figura 8. Presentación del modelo digital de elevaciones.

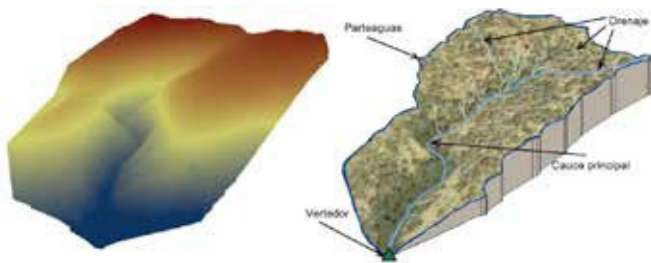


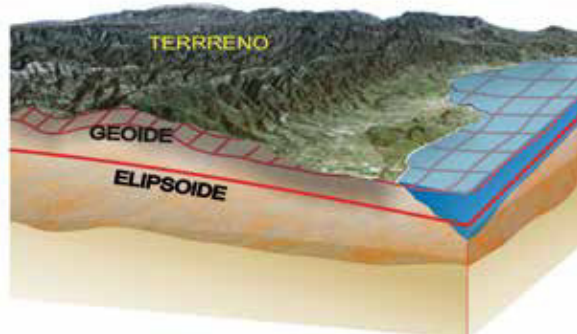
Figura 9. Vista 3D MDT y vista con imagen de Google Earth superpuesta.

CONCLUSIONES

El modelo de alta resolución (1.0 m x 1.0 m) elaborado con el procedimiento descrito, representa la topografía del terreno con una precisión aceptable para realizar estudios de hidrología en la microcuenca Torre Rayón, Sonora.

Con el procedimiento propuesto, se pueden elaborar este tipo de modelos en sitios donde no haya una gran densidad de vegetación, o bien, donde exista vegetación caducifolia que permita que en las temporadas secas se puedan hacer los levantamientos topográficos. La altura de la base del GPS y la del dispositivo móvil, son dos factores importantes para la buena calidad del levantamiento topográfico.

La metodología propuesta podrá ser aplicada en otras zonas del noroeste de México, incluso del país y puede constituir un valioso elemento de soporte para ampliar el conocimiento de los elementos del Ciclo Hidrológico en zonas áridas.



REFERENCIAS

- [1] Diario Oficial de la Federación. (2014). Norma Técnica para la generación de Información Geográfica en Modelos Digitales de Elevación que se incorpore al Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5373796&fecha=02/12/2014
- [2] U.S. Geological Survey (1993). Data Users Guide 5 Digital Elevation Models. United States Department of the Interior.
- [3] Jenson, S. K. (1991). Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. *Hydrological Processes*, Vol. 5, 31-44.
- [4] Schmidt, F. (2003). Agricultural applications of laserscanner DEMs. Quality Requirements and analysis methods. BEAK Consultants GmbH. ISPRS/EuroSDR Workshop on: 3D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data, Dresden, 8-10 October. http://www.beak.de/beak/en/publications_staff?page=2 Consultado 13/10/2015
- [5] Grenzdörffer, G. and Donath, C. (2008). Generation and Analysis of Digital Terrain Models with Parallel Guidance Systems for Precision Agriculture. Proc. 1st International Conference on Machine Control & Guidance. Zurich, Germany. Pp. 141-150.
- [6] Mei, C. and Durrieu, S. (2004). Tree crown delineation from digital elevation models and high resolution imagery. *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*. SPRS Archives – Volume XXXVI-8/W2 WG VIII/2. Eds: M. Thies, B. Koch, H. Spiecker, H. Weinacker. 03-06 October. Freiburg, Germany.
- [7] Aschoff, T. and Spiecker, H. (2004). Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI -8/W2. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W2/ASCHOFF.pdf>
- [8] Zhang, J.X, Chang, K.T. & Wu, J.Q. (2008). Effects of DEM resolution and source on soil erosion modelling: a case study using the WEPP model. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 22, Issue 8.
- [9] Abd Aziz, B. L. Steward, A. Kaleita, M. Karkee. (2012). Assessing the effects of DEM uncertainty on erosion rate estimation in an agricultural field. *Transactions of the ASABE* Vol. 55(3): 785-798 © 2012 American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [10] Li, Z. (2014). Watershed modeling using arc hydro based on DEMs: a case study in Jackpine watershed. *Environmental Systems Research*. <https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/2193-2697-3-11> Consultado: 13/07/2015
- [11] Vivoni, E.R., Ivanov, V.Y., Bras, R.L. and Entekhabi, D. (2002). *tRIBS User Manual*. Department of Civil and Environmental Engineering. Massachusetts Institute of Technology. <http://vivoni.asu.edu/tribs/userManual.html> Consultado: 15/07/2015
- [12] Pryde, J.K., Osorio, J., Wolfe, M.L., Heatwole, C., Benham, B. and Cardenas, A. (2007). Comparison of watershed boundaries derived from SRTM and ASTER digital elevation datasets and from a digitized topographic map. Written for presentation at the 2007 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota 17 - 20 June. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (sf). Modelos digitales de elevación MDE –Descripción ¿Qué es un modelo digital de elevación? <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx> Consultado: 7/07/2015
- [14] Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90 m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Consultado: 21/08/2015
- [15] Tachikawa, T., Kaku, M., Iwasaki, A., Gesch, D., Oimoen, M., Zhang, Z., Danielson, J., Krieger, T., Curtis, B., Haase, J., Abrams, M., Crippen, R. and Carabajal, C. (2011). ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results. Compiled by Dave Meyer4 on behalf of the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center and the Joint Japan-US ASTER Science Team.
- [16] Gillin, C.P., Bailey, S.W., McGuire, K.J. and Prisley, S.P. (2015). Evaluation of Lidar-derived DEMs through Terrain Analysis and Field Comparison. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 81, No. 5, pp. 387–396.
- [17] Nico, G., Rutigliano, P., Benedetto, C. and Vespe, F. Terrain modelling by kinematical GPS survey. (2005). *Natural Hazards and Earth System Sciences. European Geosciences Union*. Vol. 5, pp. 293–299.

